



Exploración sobre la captación de luz cenital.

Verónica Mejía Devia

Trabajo de grado presentado para optar por el título de Arquitecta

Verónica Henríques Ardila, Magister en Bioclimática
Luis Felipe Lalinde Castrillón, PhD en Ingeniería de la Construcción

Universidad Pontificia Bolivariana
Facultad de Arquitectura y Diseño
Pregrado Arquitectura
Medellín, Colombia

2026

AGRADECIMIENTOS

Muchas gracias a Verónica Henríques por guiarme y enriquecer mis conocimientos, y a mis compañeros por leerme y darme ánimos durante todo el proceso.

“La luz es el material más lujoso que hay, pero como es gratis no la valoramos”

(Campo Baeza, Alberto. S.F. Jot Down Cultural Magazine)

EXPLORACIÓN SOBRE LA CAPTACIÓN DE LA LUZ CENITAL

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS	2
EXPLORACIÓN SOBRE LA CAPTACIÓN DE LA LUZ CENITAL.....	3
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS.....	5
RESUMEN:	7
ABSTRACT:	8
INTRODUCCIÓN:.....	9
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN:.....	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:.....	10
JUSTIFICACIÓN.....	11
OBJETIVOS	13
OBJETIVO GENERAL.....	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	13
MARCO CONCEPTUAL	14
LA LUZ Y LA ARQUITECTURA	15
¿POR QUÉ LUZ NATURAL?.....	16
SOBRE LA LUZ CENITAL	17
COMPORTAMIENTO FÍSICO DE LA LUZ Y LOS MATERIALES.....	18
PROPIEDADES MATERIALES PARA LA CANALIZACIÓN DE LA LUZ.....	19
CONFORT LUMÍNICO EN LOS AMBIENTES DE APRENDIZAJE	21
MARCO CONTEXTUAL	23

SOBRE LA IE SAN ANTONIO:	23
CONDICIONES CLIMÁTICAS CONDICIONANTES:	24
ORIENTACION E INCIDENCIA	26
CAMINO SOLAR A LO LARGO DEL AÑO	27
MARCO NORMATIVO DE CONFORT LUMÍNICO	28
.....	30
METODOLOGÍA	30
PLANTEAMIENTO Y PARÁMETROS DE LA INVESTIGACIÓN	31
RESULTADOS	34
DISEÑO DE DISPOSITIVOS SOBRE LOS CUALES SE DESARROLLA EL EJERCICIO:	34
ESQUEMA DE ASOLEAMIENTO:.....	36
CONSIDERACIONES DE MATERIALES EN LA SIMULACIÓN:	37
VARIACIONES FORMALES EN LOS DISPOSITIVOS:.....	38
AULA CON TRAGALUCES ORIGINALES	38
AULA CON TRAGALUCES DIRECTOS	39
AULA CON TRAGALUCES INCLINADOS	40
AULA CON TRAGALUCES A DOS LADOS	41
SIMULACIONES:.....	42
TABLA TRAGALUZ ORIGINAL (HACIA EL SUR)	42
TABLA TRAGALUZ INCIDENCIA DIRECTA.....	44
.....	44
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	49
CONCLUSIONES	59
DISCUSIÓN Y LIMITACIONES.....	60
BIBLIOGRAFÍA.....	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

Ilustración 1 – LA LUZ Y LOS MATERIALES	20
Ilustración 2 - DESLUMBRAMIENTO POR REFLEXIÓN.....	22
Ilustración 3 - LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	24
Ilustración 4 – DE CLIMATE CONSULTANT RIONEGRO	25
Ilustración 5 - DE CLIMATE CONSULTANT RIONEGRO.....	25
Ilustración 6 – DE CLIMATE CONSULTANT RIONEGRO	26
Ilustración 7 – ORIENTACION E INCIDENCIA.....	26
Ilustración 8 ASOLEAMIENTO – DE SUN EARTH TOOLS	27
Ilustración 9 – ESQUEMA FORMAS DE TRAGALUZ	32
Ilustración 10 - RETÍCULA PARA EL ANÁLISIS.....	33
Ilustración 11 – DETALLE CONSTRUCTIVO DEL PROYECTO	34
Ilustración 12 – FACHADA ESTE	35
Ilustración 13 – VISTAS AXONOMÉTRICAS.....	36
Ilustración 14 – ASOLEAMIENTO	36
Ilustración 15 – TRAGALUZ ORIGINAL	38
Ilustración 16 – TRAGALUZ DIRECTO.....	39
Ilustración 17 – TRAGALUZ INCLINADO.....	40
Ilustración 18 – TRAGALUZ A DOS LADOS	41
Ilustración 19 – AULA SIN TRAGALUCES EN MARZO: 9:00, 12:00, 3:00.....	49
Ilustración 20 – TRAGALUCES EN MARZO 12:00PM	51
Ilustración 21 – ESCALA CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE LUZ	51
Ilustración 22 – SIMULACION TRAGALUZ DIRECTO MARZO: 9:00 12:00 3:00....	52
Ilustración 23 – TRAGALUZ ABIERTO A DOS LADOS MARZO 9:00, 12:00, 3:00 .	53

Ilustración 24 – PUNTOS DE REFLEXIÓN	54
Ilustración 25 – TRAGALUZ ORIGINAL SUR MARZO 9:00 12:00 3:00	54
Ilustración 26 – TRAGALUZ INCLINADO SUR MARZO 9:00 12:00 3:00	54
Tabla 1 – DISEÑO METODOLÓGICO Y CRONOGRAMA	30
Tabla 2 – TRAGALUZ ORIGINAL SUR	42
Tabla 3 – TRAGALUZ ORIGINAL NORTE	43
Tabla 4 – TRAGALUZ DE INCIDENCIA DIRECTA	44
Tabla 5 – TRAGALUZ INCLINADO SUR	45
Tabla 6 – TRAGALUZ INCLINADO NORTE	46
Tabla 7 – TRAGALUZ ABIERTO A DOS LADOS	47
Tabla 8 – AULA SIN TRAGALUZ	48
Tabla 9 – SÍNTESIS PROMEDIO DE ILUMINACIÓ POR HORAS	50
Tabla 10 – COMPARACIÓN ORIENTACIÓN	55

RESUMEN:

La presente monografía se desarrolla mediante una exploración formal, que pone a prueba diferentes variaciones de tragaluces en unas condiciones constantes. A través de una metodología basada en el diseño paramétrico y la simulación computacional, se busca analizar los diferentes efectos lumínicos generados por variaciones formales de tragaluz, y cómo estos efectos condicionan y caracterizan el espacio, con especial énfasis en las necesidades de los ambientes de aprendizaje.

Los resultados de las simulaciones revelan la vasta diferencia que hace la presencia de los lucernarios en la iluminación del aula, no solo en términos de cantidad, sino de calidad. Entre los diversos ejemplares evaluados, se destacan características formales, como los puntos de inflexión internos, que favorecen la difusión homogénea de la luz y evitan el deslumbramiento, condiciones imprescindibles para garantizar un óptimo confort lumínico. Se determina que el tragaluz original abierto hacia el sur brinda las mejores condiciones lumínicas al espacio, pero por el diseño significativamente más sencillo y económico de los tragaluces inclinados con apertura hacia el sur, se pueden obtener resultados muy similares. Estos hallazgos resaltan la importancia de integrar dispositivos de captación de luz cenital como una estrategia fundamental en el diseño arquitectónico, trascendiendo la noción de tragaluz como elemento decorativo para enfocarse en su valor funcional y pragmático.

ABSTRACT:

This research paper unfolds through a formal exploration, that compares different variations of skylights under constant conditions. Through a methodology based on parametric design and computer simulations, the aim is to analyze the varying lighting effects caused by different skylight variations, and how these characterize our spaces, with special emphasis on the needs of learning environments.

The results of the simulations reveal the vast difference that the presence of skylights makes in classroom lighting, not only in terms of quantity but also quality. Among the diverse devices evaluated, formal characteristics such as internal inflection points stand out, which ensure the homogeneous diffusion of light and avoid glare on the work surface. These conditions are essential to ensure optimal lighting comfort. Upon analysis, it was determined that the design that assures the best conditions is the originally designed, open to the south. However, for the much more simple and economic design of the sloped skylight open to the south, very similar results can be achieved. These findings highlight the importance of integrating zenithal light devices as a fundamental strategy in architectural design, transcending the notion of skylights as decorative elements to focus on their functional and pragmatic value.

INTRODUCCIÓN:

El sol es la más grande fuente de luz y energía en nuestro planeta, siendo esta natural, ilimitada, y gratuita. Aunque la humanidad ha dependido de su luz desde los inicios de la civilización, hoy en día no hemos sabido aprovechar su energía, y seguimos dependiendo mayoritariamente de las fuentes de energía basadas en combustibles fósiles para iluminar el interior de nuestras edificaciones. Esta dependencia perjudica tanto al medio ambiente como a nuestra propia salud y bienestar, por lo que actualmente se propone una apuesta por canalizar, e integrar la luz solar para que se adapte a las necesidades de nuestros edificios, y así, podamos aprovechar uno de los recursos más invaluable que nos ha brindado la naturaleza.

Con la meta de hacer más asequible la canalización de luz solar mediante tragaluces, esta investigación explora diferentes configuraciones formales, para determinar: ¿Cómo se puede condicionar el desempeño de un dispositivo de captación de luz cenital, alterando sus diferentes variables para obtener las mejores condiciones de confort lumínico en un espacio determinado?

Basándose en las condiciones del caso de estudio: la IE San Antonio, esta exploración formal se basa en la metodología del diseño paramétrico para poner a prueba diversas opciones, y poner en evidencia el gran cambio que se genera en las condiciones lumínicas de un aula, al introducir los lucernarios correctos.

Demostrando así, que más allá de un lujo o un detalle estético, un tragaluz puede ser una valiosa herramienta de vital importancia para potenciar las condiciones de confort y habitabilidad de un espacio.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN:

¿Cómo se puede condicionar el desempeño de un dispositivo de captación de luz cenital, alterando sus diferentes variables para obtener las mejores condiciones de confort lumínico dentro del contexto climático y proyectual del IE San Antonio?

PREGUNTA SECUNDARIA: ¿Por qué buscar luz cenital natural en un espacio?

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

Esta investigación nace del estudio realizado sobre la institución educativa San Antonio, la cual se destaca por su calidad en diseño arquitectónico y bioclimático. Entre la amplia gama de estrategias bioclimáticas enfocadas en el diseño pasivo aplicadas en este proyecto, sobresalen los tragaluces diseñados sobre las áreas de circulación y las aulas del último piso. A pesar de ser un elemento clave de distinción en cuanto a diseño sostenible en el proyecto, estos tragaluces, caracterizados por su combinación de estrategias pensadas para la canalización y control de la luz natural, fueron omitidos a la hora de la construcción. En su lugar, se construyeron unas tejas translúcidas que, a pesar de cumplir la función básica de permitir el ingreso de luz natural, posiblemente no otorguen tantas bondades en cuanto a la calidad de esta iluminación. Sin embargo, ya que estos tragaluces nunca fueron construidos, es imposible saber empíricamente la diferencia entre el desempeño de estos dos dispositivos de captación de luz cenital.

Ahora que el proyecto culminó y se encuentra en funcionamiento, no es viable cambiar sus condiciones lumínicas, pero la situación misma abre un espacio de reflexión que nos hace preguntarnos en primera instancia: Entendiendo la dificultad

y complejidad ¿Por qué apostar por la iluminación cenital natural? y sobre todo **¿Qué variables condicionan el desempeño de un dispositivo de captación de luz cenital, asegurando su máxima eficiencia en cuanto un óptimo confort lumínico?**

La presente investigación, plantea un ejercicio hipotético de exploración de la luz cenital, y cómo diferentes variaciones en el diseño de estos dispositivos pueden transformar las condiciones de confort en un espacio.

JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se justifica desde del reconocimiento de la necesidad de unas óptimas condiciones lumínicas para el buen habitar de un espacio (Kong et al., 2022) (Veitch, 2001). Partiendo de esta necesidad, la monografía expande conocimientos que conciernen al confort lumínico, y se enfoca en identificar diferentes estrategias de canalización de luz natural cenital y cómo estas inciden en un proyecto. Gracias este ejercicio hipotético realizado a partir del caso de la IE San Antonio, se obtendrá un claro entendimiento de cómo lograr las mejores condiciones lumínicas posibles en un espacio por medio de la manipulación de variables en un tragaluz.

A largo plazo, el conocimiento obtenido de la investigación podrá facilitar el diseño de espacios iluminados naturalmente, no solo mejorando sus cualidades estéticas y sensibles, sino también las funcionales. Está demostrado que un incremento en espacios diseñados con luz cenital natural puede ayudar a mejorar la calidad de vida, reducir el estrés y potenciar la productividad de los usuarios (Xiao et al., 2021). Adicionalmente, en un momento en que la sostenibilidad y la eficiencia

energética son temas cruciales en el diseño arquitectónico, es necesario comprender cómo aprovechar al máximo la luz natural, para reducir la huella ambiental de los edificios y disminuir los costos operativos a largo plazo. (Onubogu et al., 2021)

En el periodo de presidencia anterior, se lograron construir aproximadamente 300 instituciones educativas, (Valencia, D, 2022), y el gobierno actual pretende seguir con este ritmo. Estas nuevas instituciones representan la oportunidad para mejorar integralmente la calidad de la educación en el país, por medio del mejoramiento de nuestras infraestructuras. Teniendo en cuenta estas nuevas instituciones, la metodología de simulación y comparación podrá ser aplicable para diseñar lucernarios que respondan a las condiciones climáticas particulares de sus emplazamientos, así mejorar las condiciones de habitabilidad y rendimiento para los jóvenes de Colombia.

Particularmente, del estudio de los lucernarios se pretende obtener una comprensión básica del comportamiento de las ondas lumínicas dentro de diferentes estructuras, la influencia que tienen los diferentes materiales, y cómo aspectos como la orientación y la inclinación de las superficies influyen su trayectoria.

En resumen, esta investigación se hace pertinente en la medida que facilita la integración de tragaluces y dispositivos de captación de luz cenital en futuros proyectos e instituciones, demostrando que estas estrategias no son prescindibles, y en lugar de ser un simple valor agregado en una edificación, son esenciales para el buen desempeño de esta.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

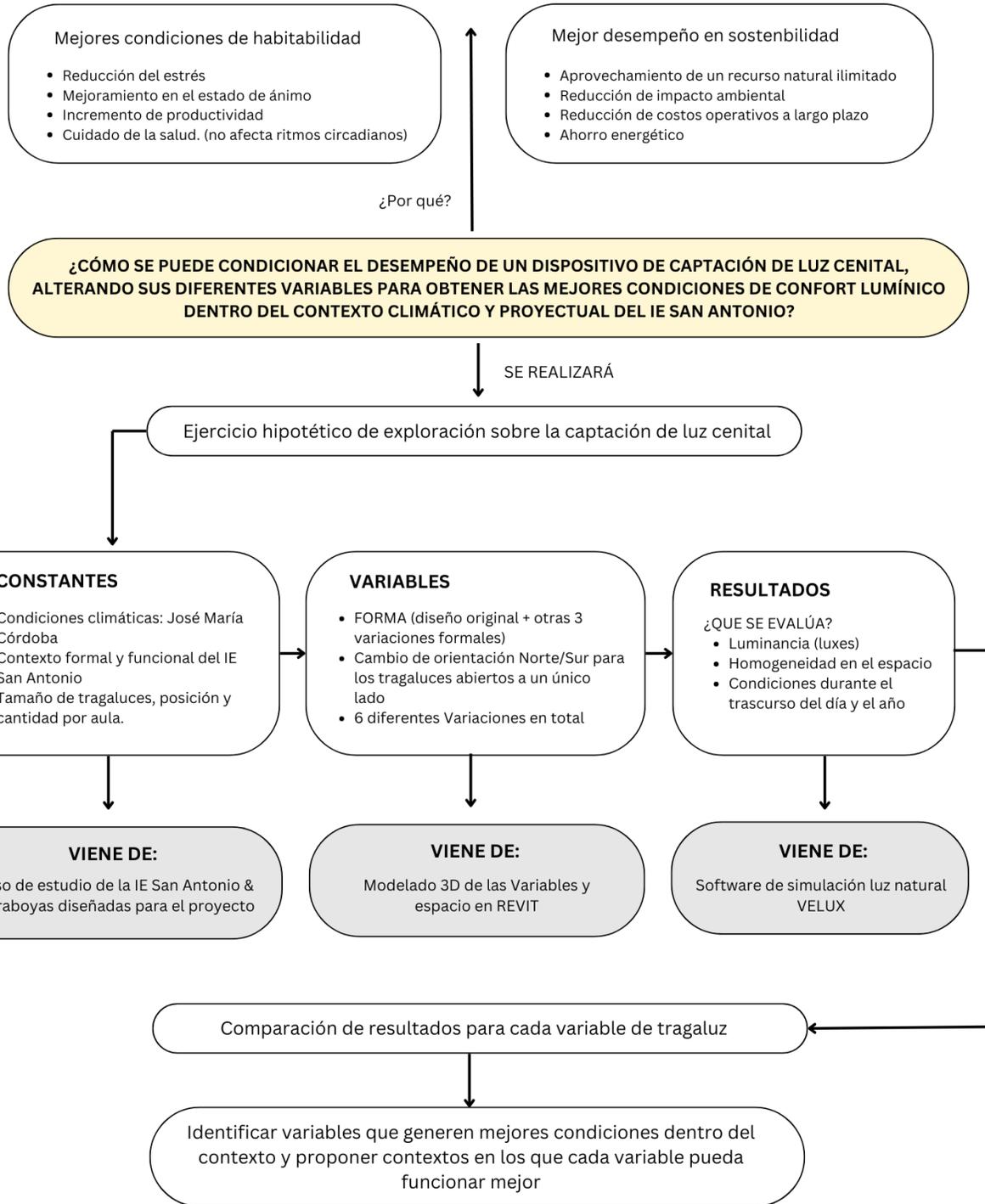
Analizar los diferentes efectos lumínicos generados por variaciones de tragaluces, y cómo estos efectos condicionan y caracterizan el espacio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Identificar las características en los tragaluces diseñados para la IE San Antonio que pueden suponer variables manipulables, y las diferentes formas en las que estas se pueden intercambiar por características de otros lucernarios.
2. Explorar las diversas variaciones, formales y materiales, así como las diferentes condiciones que generan dentro de un aula estándar con condiciones climáticas constantes.
3. Comparar los diferentes resultados de los diferentes tragaluces, para identificar las mejores condiciones posibles en las aulas de la institución.

MARCO CONCEPTUAL

ILUMINACIÓN CENITAL NATURAL



LA LUZ Y LA ARQUITECTURA

“La luz es el material más lujoso que hay, pero como es gratis no la valoramos”

(Campo Baeza, Alberto. S.F. Jot Down Cultural Magazine)

Dicen que la primera forma de arquitectura fue el fuego. (Sri G. Ely., 2019). Desde las primeras instancias en las que los seres humanos conformamos nuestras sociedades, hemos tenido la necesidad de delimitar nuestro espacio, y si bien nos valíamos de las cavernas que nos proveyeran una barrera física protectora, la verdadera forma en la que delimitábamos nuestro espacio era la luz (Sri G. Ely., 2019). Por las noches, cada espacio que el fuego iluminara era reclamado como nuestro, ahuyentando potenciales peligros y haciéndonos sentir como en casa.

Es innegable que la luz, tanto como la delimitación formal de los espacios, es uno de los elementos constituyentes más básicos que conforman el carácter y habitabilidad de un espacio. (Regidor J., 1995). La luz es entonces tan importante como diseñar muros y losas a la hora de hacer arquitectura, siendo esta un elemento creativo que le da valor estético, sensible, y funcional dependiendo en cómo esta se maneje. Mas allá de un lujo o capricho estético, una correcta iluminación es una necesidad absoluta, ya que sin esta es imposible para el ser humano habitar correcta y cómodamente. Incluso, es la misma iluminación la que condiciona qué tipo de uso y apropiación el espacio va a tener, basándose en las necesidades lumínicas que el ser humano requiera para diversas actividades.

¿POR QUÉ LUZ NATURAL?

Evidentemente, el diseño de complejos dispositivos de captación de luz natural conlleva a un esfuerzo e investigación exhaustiva. ¿Por qué entonces, no solo diseñar la iluminación artificialmente, siendo esta más fácil de controlar y manipular? Dejando atrás el obvio factor de la conveniencia, la integración de luz natural como fuente primaria de iluminación es imprescindible para la más óptima calidad de espacios y habitabilidad.

En primera instancia, la iluminación influye los procesos fisiológicos tanto como psicológicos en los seres humanos. (Kong et al., 2022) Se ha examinado el comportamiento de trabajadores en atmósferas iluminadas natural y artificialmente, y se ha identificado una considerable mejora en cuanto al estado de ánimo, productividad, sociabilidad, y voluntad de ayudar a los otros cuando la persona está expuesta a la luz del sol habitualmente. (Kong et al., 2022) (Veitch, 2001) (Jovacho Macho, 2018). De hecho, se ha probado que la iluminación artificial puede suprimir la melatonina, poniéndonos en un estado de alerta que inicialmente nos activa, pero luego de un tiempo de exposición el cuerpo percibe desgastante ese constante estado de exaltación, fatigándonos más a largo plazo. La luz natural, por el contrario, nos mantiene en un estado de confort que nos permite estar activos por más tiempo, y no altera los ciclos circadianos. (Xiao et al., 2021)

Por otro lado, vivimos en una época en la que la concientización en cuanto a la sostenibilidad es más importante que nunca. La generación de energía mediante el combustible fósil es uno de los principales catalizadores del cambio climático, por lo cual es imperativo diversificar y economizar nuestro consumo energético. (Onubogu et al., 2021) . La iluminación eléctrica representa el 20.5% del consumo energético de edificios comerciales en Estados Unidos (Motamedi & Liedl, 2017).

Una de las mejores formas de lograr esto desde la arquitectura es la integración de la iluminación natural, ya que esta es un recurso natural renovable, sin ningún límite ni costo. Las estrategias bioclimáticas que se valen del aprovechamiento de los recursos naturales, evitando procesos de adaptación artificiales (cómo lámparas) se denominan “Estrategias de diseño pasivo”, (Baldeon Mejía, 2021) dentro de las cuales se pueden encontrar los tragaluces. La integración de estas estrategias en los proyectos, si bien requieren de un mayor costo o esfuerzo en cuando al diseño en un principio, a largo plazo reducen costos operativos cotidianos, y tienen un menor impacto ambiental.

SOBRE LA LUZ CENITAL

Se define la luz cenital como aquella que entra a través de un tragaluz o claraboya desde la cubierta de una edificación. Esta, entonces genera el efecto de iluminación natural que más se asemeja a la sensación del exterior, entrando la luz por encima nuestro. Los tragaluces de por si existen en una amplia gama de diversidad y rango para la exploración de diferentes efectos lumínicos (Place et al., 1987). Valiéndonos de la luz cenital podemos crear unas condiciones lumínicas uniformes y heterogéneas, o dramáticas y escénicas, dependiendo de las características del tragaluz y las condiciones espaciales donde se inserta (Shirzadnia et al., 2023). Sin embargo, estadísticas muestran que solo 2- 5% de edificios comerciales cuentan con suficiente área iluminada cenitalmente. (Lawrence & Roth, 2008). Comúnmente, los tragaluces son percibidos como un valor agregado en términos estéticos, y se descartan rápidamente en el diseño de edificios genéricos, de oficinas, o instituciones. Por consiguiente, se está perdiendo

la oportunidad de emplear tragaluces como una estrategia complementaria a las aperturas en fachada para generar espacios con las óptimas condiciones lumínicas en términos funcionales, con una óptima homogeneidad e iluminancia en cada punto de un determinado espacio.

COMPORTAMIENTO FÍSICO DE LA LUZ Y LOS MATERIALES

En la disciplina del diseño lumínico se toman ciertas medidas y parámetros para entender el comportamiento físico de la luz en un espacio complejo, donde interactúa con diferentes materiales y superficies. (Ganslandt & Hofmann, 2014) Estos parámetros, identificados posteriormente, son claves para medir cuantitativamente el comportamiento de la luz, estandarizar estas condiciones en normas, y para simularlas digitalmente.

- Flujo Luminoso (lm) Lumen: Potencia total de energía luminosa emitida por una fuente de luz. (en varias direcciones)
- Intensidad luminosa (cd) candela. Energía luminosa emitida en una sola dirección.
- Iluminancia (lx) Lux. Densidad del flujo luminoso que cae sobre una superficie.
- Luminancia (cd/cm²) o brillo, flujo luminoso emitido por unidad de superficie.
- Reflectancia: propiedad de material que rebota los rayos de luz, reemitiéndolos desde la superficie en la misma dirección para materiales especulares, o dispersando los rayos en superficies difusas.

- Absortancia: propiedad de material que absorbe los rayos luminosos (materiales opacos)
- Transmitancia: propiedad de materiales translúcidos, a través de los cuales pasan los rayos de luz. La luz se transmite sin cambiar su dirección por los materiales transparentes, y se dispersa en múltiples direcciones a través de los materiales opalinos.

(Ganslandt & Hofmann, 2014) (Monroy M, et al., 2006)

PROPIEDADES MATERIALES PARA LA CANALIZACIÓN DE LA LUZ

Para transformar la luz del sol, que es muy intensa y volátil, en una luz que se adecúe correctamente a un espacio de concentración, los dispositivos de captación de luz deben contar con ciertas estrategias formales, y materiales que modifiquen la incidencia de los rayos solares y su trayectoria. Recordando que la calidad lumínica de un espacio precisa una suficiente iluminancia, distribución homogénea de la luz, y que sea difusa para evitar el deslumbramiento. (Liu et al., 2021) (Lam, M.C., 1986)

La luz se compone de ondas electromagnéticas, con un rango de longitud de onda entre 3.30 y 0.78 μ m, el cual corresponde al espectro de luz visible. La amplitud de onda determina la intensidad de la luz, la cual se cuantifica en Candelas (Cd), mientras que la longitud de onda relacionada a la frecuencia determina el color. (Monroy M, et al., 2006). Estas ondas electromagnéticas reaccionan de formas diferentes cuando se ponen en contacto con diversas superficies: ya sea se absorban, se reflejen, o se transmitan, la forma en la que la luz interactúa con las

superficies nos permite utilizar estas propiedades a nuestro favor para adecuar la luz a lo que necesitemos. (Lam, M.C., 1986)

La reflectancia es una propiedad que podemos utilizar para cambiar la trayectoria de los rayos de luz, y es la más importante en el diseño de la luz natural. Las superficies especulares son las que reflejan la luz sin distorsionar su trayectoria, como un espejo, mientras que las superficies satinadas o difusas descomponen la luz, y la redireccionan en diferentes ángulos. La reflectancia es el porcentaje de la luz que se está reflejando, y es importante entender que muy difícilmente la reflectancia de un material será del 100%, sino que por cada punto de reflexión, un poco de luz se absorberá al material, perdiendo un poco de energía. (Lam, M.C., 1986). Los puntos de reflexión entonces nos permiten disminuir la cantidad de luz solar que ingresa a un espacio.

Igualmente, la transmitancia es esa propiedad que permite que la luz atraviese un material, como el vidrio, u otros materiales translúcidos. Cuando la luz se transmite sin cambiar su dirección, el material es transparente, y cuando la luz se dispersa en diferentes direcciones, es un material translúcido esmerilado. (Monroy M, et al., 2006)

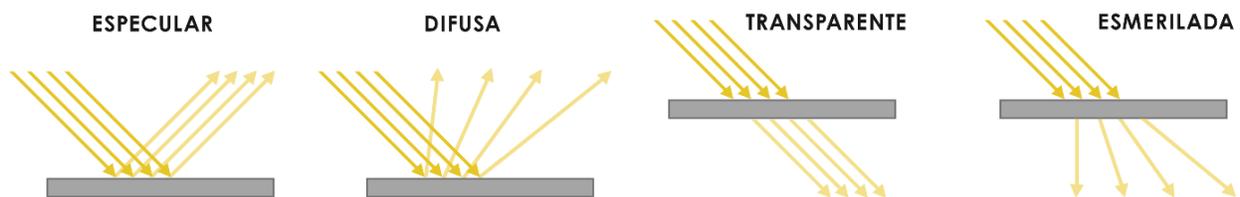


ILUSTRACIÓN 1 – LA LUZ Y LOS MATERIALES

CONFORT LUMÍNICO EN LOS AMBIENTES DE APRENDIZAJE

El funcionamiento de un espacio de aprendizaje depende especialmente de sus condiciones lumínicas. Según un estudio realizado en la universidad de Tianjin, China, cuando los estudiantes se encuentran un confort lumínico óptimo, su efectividad al cumplir sus tareas aumenta en un 12.16–51.19% (Qu et al., 2024). Así mismo, un estudio que analiza el efecto ambiental en las funciones del aprendizaje concluye que: entre la iluminación (iluminancia y calidez), el color y las dimensiones espaciales del aula, la iluminación es el factor que más afecta las habilidades de los estudiantes con creces. (Nolé Fajardo et al., 2023) . Por consiguiente, para garantizar condiciones ideales, es imperativo ir más allá del factor de iluminancia ideal, y entender las diferentes necesidades particulares dentro de un salón de clase desde la calidad lumínica, para impedir esos fenómenos que podrían entorpecer el desempeño y comodidad de sus usuarios.

Un ejemplo fundamental de incomodidad visual dentro de las condiciones particulares de un salón de clases es el deslumbramiento por reflexión. (Winterbottom & Wilkins, 2009). Las aulas son espacios en los que se concentra toda la atención sobre planos de trabajo (Típicamente papel), y si sobre uno de estos planos se refleja una alta iluminancia directamente a los ojos, se reduce el contraste percibido al ojo, perjudicando la capacidad visual. (Ganslandt & Hofmann, 2014) (Bian et al., 2021). Sobre todo, dado que típicamente se trabaja sobre superficies de papel, que tiene una alta reflectancia, es particularmente doloroso un deslumbramiento por reflexión sobre papel. Es importante resaltar que el deslumbramiento por reflexión es un riesgo particularmente propenso a darse bajo condiciones de iluminación natural. Es decir, si las intenciones son iluminar

naturalmente un salón de clase, hay que ser especialmente cuidadosos con la distribución de la luz, y la reflectancia en las superficies de trabajo. (Liu et al., 2021)

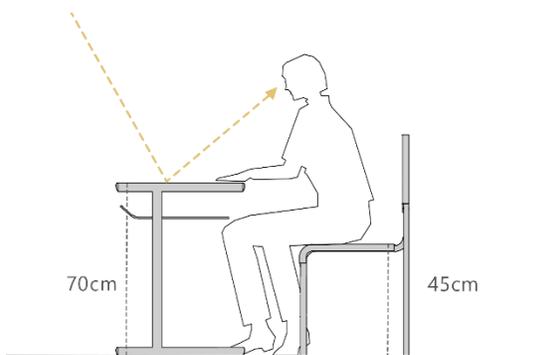


ILUSTRACIÓN 2 - DESLUMBRAMIENTO POR REFLEXIÓN

Otro factor excepcionalmente importante para considerar en un aula de clase es la fatiga que podría generar la luz a lo largo de la larga jornada (7am – 4pm) estudiantil. Jornada, que de por sí es altamente exigente en cuanto a que demanda una constante concentración y atención. De acuerdo con un estudio que compara los rendimientos de estudiantes bajo diferentes condiciones lumínicas, se determina que la iluminación natural produce mucha menos fatiga e irritación a largo plazo que la artificial. (Jovacho Macho, 2018) Así mismo, se identifica que la iluminancia y temperatura de la luz son dos grandes factores incidentes en los estados de alerta, y fatiga de los estudiantes. La luz artificial con tonos fríos, así como una iluminancia ligeramente superior a los 400 luxes estipulados inducen el cuerpo en un estado de alerta y facilitan la concentración inicialmente. Sin embargo, a largo plazo estas condiciones se evidencian desgastantes y dificultarán las funciones cognitivas para la atención y el trabajo. (Xiao et al., 2021)

MARCO CONTEXTUAL

SOBRE LA IE SAN ANTONIO:

La institución educativa San Antonio se localiza en el municipio de Rionegro, cerca del corregimiento San Antonio de Pereira (de dónde saca su nombre). Es un colegio público activo desde el 2 de mayo de 2022, construido sobre un lote inserto en un área residencial de clase alta. Es un proyecto desarrollado como una institución educativa pública que, a diferencia de otras instituciones públicas, no se satisface desde su diseño con lograr lo mínimo en cuanto a confort y habitabilidad. Por el contrario, se diseña con el objetivo de brindar las mejores condiciones posibles de aprendizaje, confort, y bien estar para los niños; esfuerzos que se reflejan en un proyecto ejemplar en cuanto al diseño bioclimático, catalogándose como un colegio 10.

Luego de analizar el proyecto se identifican una serie de intenciones y estrategias muy deliberadas desde la bioclimática con el objetivo de lograr condiciones de habitabilidad favorables, y reduciendo el gasto de energía desde el diseño pasivo. Estas estrategias, como su geometría alargada, la orientación, los quiebrasoles en fachada, y lucernarios en la cubierta, fueron planteadas para asegurar condiciones óptimas tanto lumínicas como higrotérmicas, y fueron responsables de que el proyecto lograra ser finalista en el premio panamericano de arquitectura xxiii en la Bienal Panamericana de Arquitectura de Quito.

La presente investigación se basa puntualmente en los tragaluces ubicados en las áreas de clase en el último piso de la institución, los cuales, a pesar de haber sido parte crucial de su diseño, no se llevaron a cabo en la obra. Estos tragaluces presentaron obstáculos en obra con su complejo diseño no muy económico, por lo

que fueron reemplazados en la construcción por una serie de tejas traslúcidas, que a pesar de cumplir la función básica de permitir el ingreso de luz natural, posiblemente no otorguen tantas cualidades en cuando a la calidad de la iluminación y el nivel de confort en quienes habitan el espacio.

CONDICIONES CLIMÁTICAS CONDICIONANTES:



ILUSTRACIÓN 3 - LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

La IE San Antonio se basa en los datos de la estación meteorológica más próxima, ubicada en el aeropuerto José María Córdoba, para recopilar los datos climáticos a los cuales el diseño del proyecto debe responder. Así mismo, como este ejercicio de exploración lumínica se basa en el diseño e intenciones de la institución, se conservarán estas condiciones climáticas como una constante. Esto nos permitirá tener un campo común sobre el cual podamos comparar los diferentes resultados que diferentes variaciones de tragaluces tienen en condiciones iguales.

Las siguientes condiciones climáticas se toman de la estación meteorológica del aeropuerto José María Córdoba, localizada en Latitud 6.165° Norte, 75.423° Oeste. Time zona forma Greenwich -5 a una elevación de 214 m.s.n.m

Rango de iluminación durante el año (luxes)

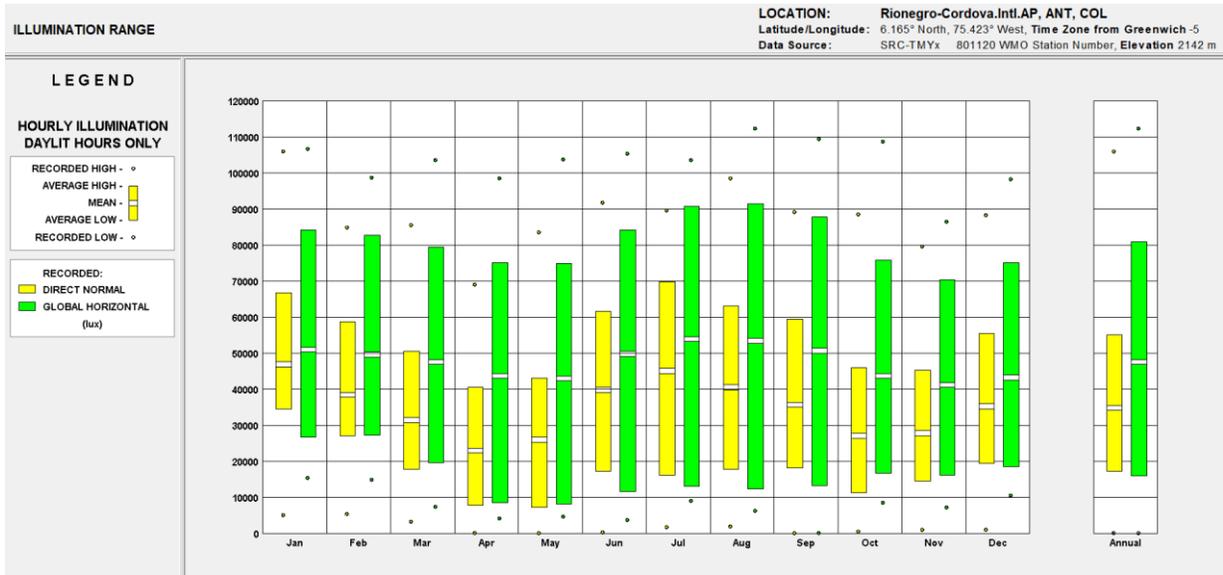


ILUSTRACIÓN 4 – DE CLIMATE CONSULTANT RIONEGRO

Nubosidad del cielo

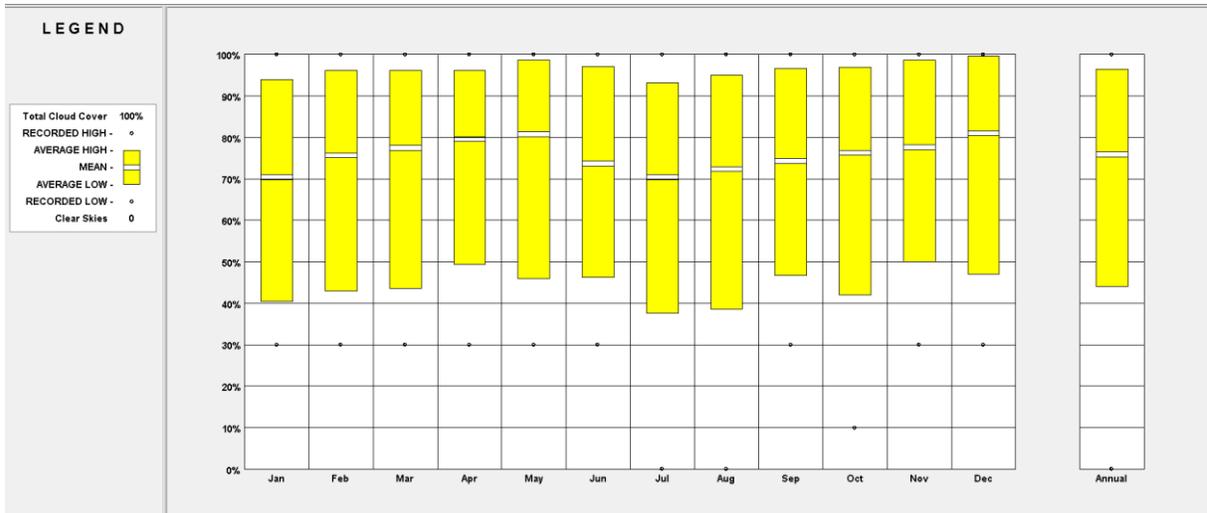


ILUSTRACIÓN 5 - DE CLIMATE CONSULTANT RIONEGRO

Iluminancia (luxes) en diferentes horas del día

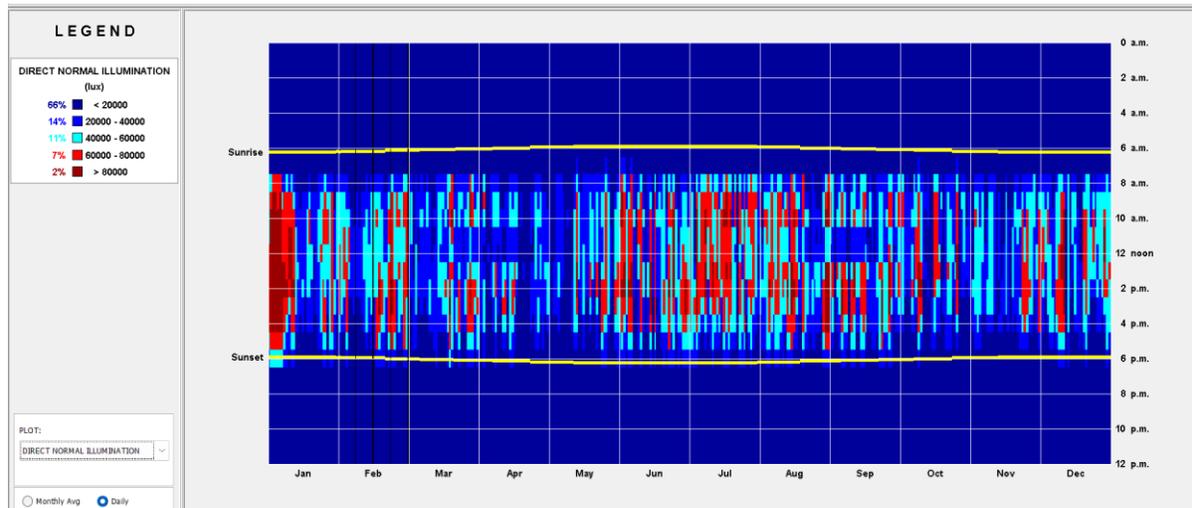


ILUSTRACIÓN 6 – DE CLIMATE CONSULTANT RIONEGRO

De los datos recopilados de la estación meteorológica se entiende la localización como un sitio relativamente frío para estándares del trópico, típicamente con un cielo alrededor de 70% nublado, lo cual limita mucho la cantidad de luz natural, e impide que lleguen los rayos solares con incidencia directa sobre la institución. También se identifican enero y julio como los meses más soleados, pero teniendo un promedio de iluminancia de aproximadamente 50000 luxes.

ORIENTACION E INCIDENCIA

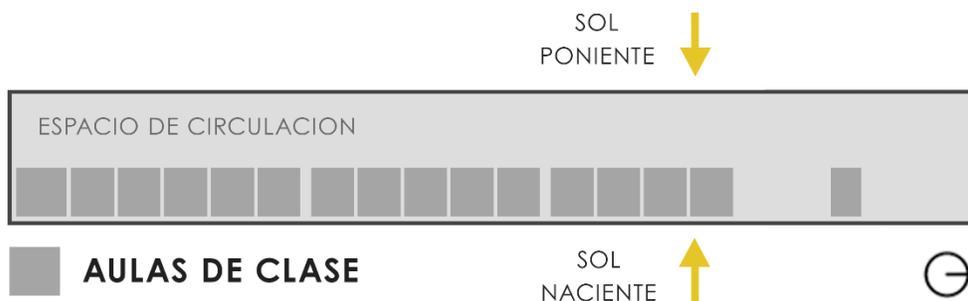


ILUSTRACIÓN 7 – ORIENTACION E INCIDENCIA

Aulas de clase en el último piso

La forma rectangular de la institución, con sus fachadas más largas al este y al oeste, les permite a las fachadas recoger el mayor calor posible de el sol naciente y poniente. Las aulas de clase se ubican todas con fachada al este, es decir, que es el sol de la mañana el que entra por sus fachadas de celosías.

CAMINO SOLAR A LO LARGO DEL AÑO

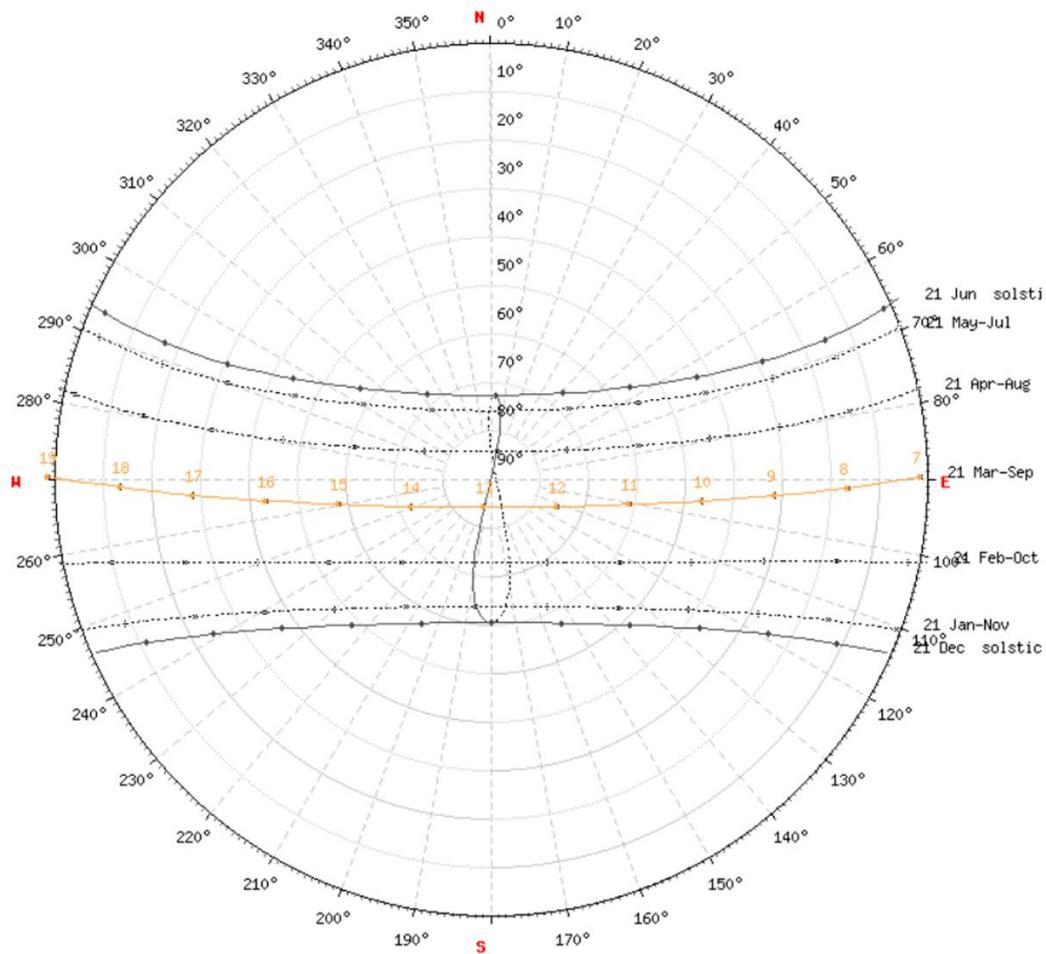


ILUSTRACIÓN 8 ASOLEAMIENTO – DE SUN EARTH TOOLS

Otro aspecto importante por considerar es el cambio de las condiciones lumínicas del espacio a lo largo del año debido al cambio en la incidencia del sol con

respecto al aula. En los equinoccios en (marzo y septiembre) el sol pasa relativamente alineado con el eje este – oeste, incidiendo a casi a 93° grados a las 12:00pm. En el solsticio de verano en junio, el sol incide desde el norte a aproximadamente 82° a las 12:00pm. Por otro lado, en el solsticio de invierno en diciembre, el camino del sol se inclina más hacia el Sur, a aproximadamente 110°.

MARCO NORMATIVO DE CONFORT LUMÍNICO

EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS (ICONTEC, 2006)

Para emplear correctamente la iluminación natural es imperativo entender que el ser humano no responde igualmente a todo tipo de condiciones lumínicas, y por ende, cada actividad tiene unos requisitos distintos en cuanto a cantidad de iluminación, así como naturaleza y calidad de iluminación. Para poder determinar que estándares cumplir para diferentes tipos de espacios, podemos recurrir a la norma y los estándares reconocidos por los expertos en el confort lumínico.

Se tomará de referencia la Norma Técnica colombiana NTC 4596 – 5496, reglamento que establece los requisitos para el diseño físico – espacial de instalaciones en ambientes escolares. Se menciona que estos reglamentos no son rígidos ni estandarizados en cuanto a formatos, medidas y diseños. “Son más bien un menú flexible de posibilidades ideales, para que cada región, cada establecimiento, haga su propia escogencia y mezcla.” (INCONTEC, 2006) .

En cuanto a la iluminación, se definen los espacios de aulas como espacios de concentración y trabajo individual es decir “Ambientes A”, los cuales según la tabla

6. Requieren mínimamente de 300 luxes en cuanto iluminancia. (INCONTEC, 2006)

Otra normativa que tiene como objetivo regular y estandarizar la iluminación es el Reglamento Técnico de Iluminación y alumbrado público (RETILAP). En el capítulo 4, esta habla sobre diseños y cálculos de iluminación interior, habla de los diferentes aspectos que es necesario tener en cuenta a la hora de diseñar las condiciones lumínicas de un espacio; el documento menciona entre otras: “las exigencias visuales de cada espacio, las condiciones de acabado y reflexión de las superficies, así como los niveles de iluminancia y uniformidad requeridas por el usuario, y control del deslumbramiento” (RETILAP, 2017). En cuanto a las aulas de clase, se determina que la iluminancia debería estar en el rango de 300 luxes a 500 luxes, nunca superando los 750 luxes, y el máximo valor de deslumbramiento (UGR) es de 19. En cuanto a la calidad de la iluminación en estos espacios de aprendizaje, la norma habla de lo imprescindible que es una óptima distribución y uniformidad de la luz sobre el plano de trabajo, debido a que de hacerse incorrectamente, esto podría generar deslumbramiento y fatiga, o monotonía. (RETILAP, 2017)

Adicionalmente la norma trata el tema del aprovechamiento de la luz natural como una definitiva prioridad a la hora de diseñar un espacio, y es deber utilizarla en la medida de lo posible. Se expone el ICLNI (indicador de contribución de la luz natural a la iluminación) como una “relación entre la iluminación promedio interior producida por la luz natural en el plano de trabajo, y el valor de iluminación media, asignado como requisito mínimo mantenido al espacio local.” En aulas de clase, entendiéndolas como tareas de dificultad media, hay un ICLNI (indicador de contribución de la luz natural a la iluminación) promedio de 20. (RETILAP, 2017)

METODOLOGÍA

DISEÑO METODOLOGICO			
OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RECURSOS	FECHAS
Objetivo específico 1: Identificar las características en los tragaluces diseñados para la IE San Antonio que pueden suponer variables manipulables, y las diferentes formas en las que estas se pueden intercambiar por características de otros lucernarios.	Recopilar información sobre confort lumínico, y las diversas necesidades visuales de un espacio de aprendizaje	Planimetría / detalles IE San Antonio	Semana 5 - Semana 10
	Estudiar variedades de tragaluces en diferentes proyectos, y como estos responden a las necesidades específicas de sus contextos a través de su diseño en cuanto a forma y orientación	Detalles de referentes proyectuales con tragaluces	Semana 10 - Semana 13
	Estudiar los tragaluces diseñados para San Antonio, e identificar sus características más prominentes	Planimetría / detalles IE San Antonio	Semana 13 - Semana 14
	Combinar diferentes características de los tragaluces referentes y del IE San Antonio, para generar nuevas opciones	Planimetría / detalles IE San Antonio	Semana 14 - Semana 16
Objetivo específico 2: Explorar las diversas variaciones, formales y materiales, así como las diferentes condiciones que generan dentro de un aula estándar con condiciones climáticas constantes.	Diseñar y modelar el tragaluz original, junto con el contexto del aula de la institución: con su fachada, y orientación.	REVIT	Semana 16 - Semana 18
	Modelar sobre el aula, las variables de tragaluz a evaluar (4 variaciones formales, otras 2 adicionales de orientación)	REVIT	Semana 18 - Semana 20
	Instalar, y aprender a manejar el programa de simulación: Velux daylight visualizer	Tutoriales de simulación de luz natural en software	Semana 20 - Semana 22
	Importar los modelos al software, y simular las condiciones de iluminación sobre un plano de trabajo a 70cm sobre el suelo	REVIT/ VELUX DAYLIGHT VISUALIZER	Semana 22 - Semana 28
Objetivo específico 3: Comparar los diferentes resultados de los diferentes tragaluces, para identificar las mejores condiciones posibles en las aulas de la institución.	Generar simulaciones a lo largo del año en 3 diferentes momentos del día (9:00, 12:00, 3:00)	VELUX DAYLIGHT VISUALIZER	Semana 22 - Semana 28
	Extraer datos de la iluminación en promedio por cada simulación de aula	VELUX DAYLIGHT VISUALIZER	Semana 28 - Semana 30
	Contraponer los datos resultados	Documento Comparativo	Semana 30 - Semana 33

TABLA 1 – DISEÑO METODOLÓGICO Y CRONOGRAMA

PLANTEAMIENTO Y PARÁMETROS DE LA INVESTIGACIÓN

Para realizar esta exploración, se mantienen constantes las condiciones del IE San Antonio: sus condiciones climáticas, emplazamiento, orientación, y cualidades espaciales. Así mismo se toman de base las dos opciones de tragaluz diseñadas para el proyecto (Fig. 2), como punto de partida, sobre las cuales se alteran diferentes variables puestas a prueba mediante la metodología del diseño paramétrico, la cual se basa en la modelación de geometrías actualizables en conjunción con software de simulación de luz natural para identificar la diferencia entre desempeños de las variedades de tragaluz resultantes. (Fang & Cho, s/f)

1. En primera instancia, la simulación se realiza en un aula típica del último piso, en lugar del área de circulación, ya que las aulas son espacios con un más alto menester de calidad lumínica, y su entero funcionamiento y éxito depende de esta.
2. Se modela el espacio en Revit, con todas las variaciones formales y materiales de los tragaluces alternativos. Se plantea generar 4 posibilidades de tragaluz en cuanto a forma, y sobre las variaciones con apertura hacia un único lado, se generan extra variaciones en cuanto a orientación, resultando en 6 distintos tragaluces que son espaciados de manera uniforme en el aula. (3 tragaluces por aula)

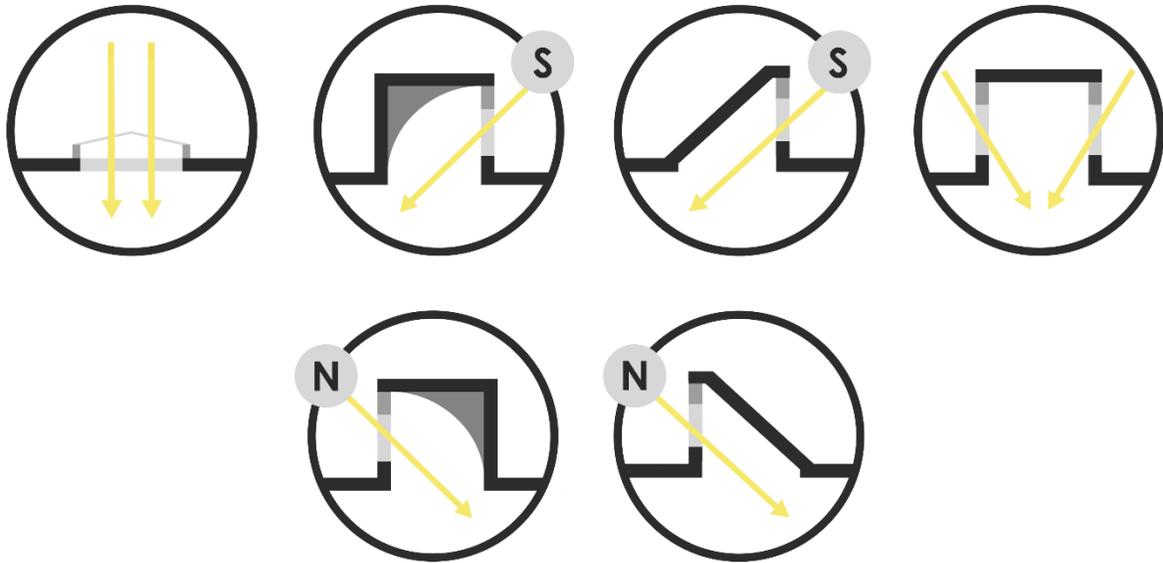


ILUSTRACIÓN 9 – ESQUEMA FORMAS DE TRAGALUZ

3. Posteriormente, en el simulador de luz natural Velux, se replican las condiciones climáticas de la institución, así como la orientación de las aulas y su altura. Para esto, se toman los promedios de los datos obtenidos de climate consultant de la estación meteorológica del José María Córdoba.
4. En Velux, se replican los materiales teniendo en cuenta propiedades como reflectancia, transmitancia, brillo, y rugosidad.
5. Se realiza la simulación a lo largo del año: el 21 de marzo, el 21 de Julio, el 21 de septiembre, y el 21 de diciembre (según los solsticios y equinoccios). También se realizan variaciones a lo largo del día: 9:00am, 12:00pm, y 3:00pm. Todo esto para analizar el comportamiento de los tragaluces a medida que el tiempo pasa, y entender la incidencia de las variaciones en orientación.

6. Para el análisis de la simulación, se toma un plano de análisis lumínico en la altura de trabajo (superficie de los escritorios) correspondiente a 70cm sobre el nivel de piso acabado.
7. Para analizar la distribución de luz en el espacio, se parte de la configuración de escritorios para generar un cuadrante dividido en pequeños sectores de 1.1m x 0.85m, así será sencillo identificar áreas donde la luz no sea homogénea. Cada sector puede ser identificado por un sistema de número y letra correspondientes a su fila y columna. (ej. 4; F)

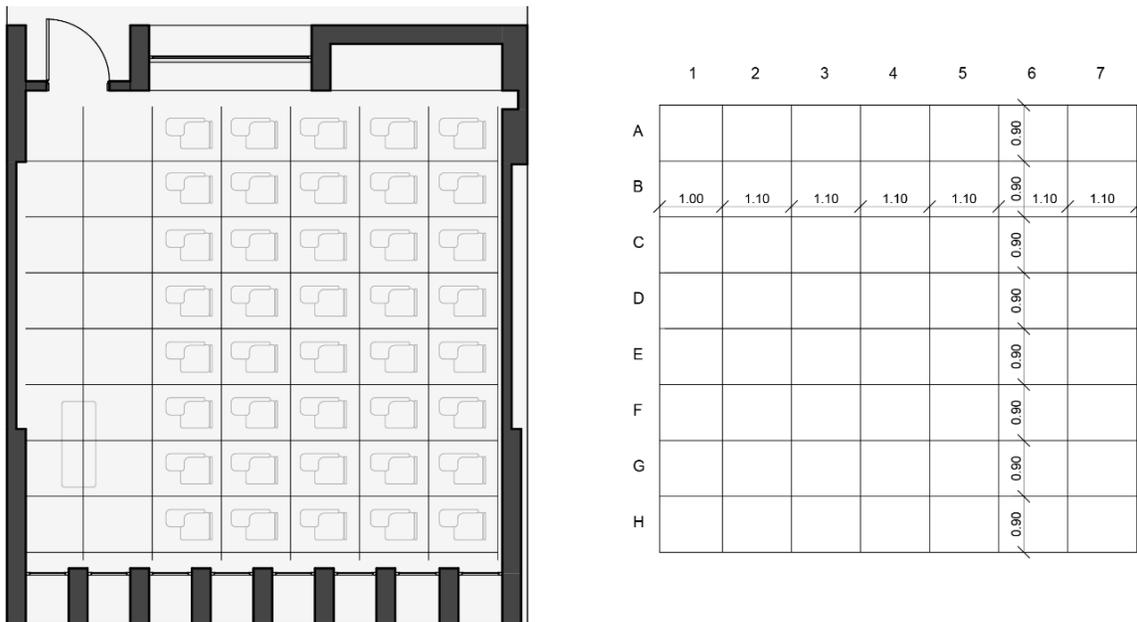


ILUSTRACIÓN 10 - RETÍCULA PARA EL ANÁLISIS

8. Para la representación, se toma como el límite inferior del rango los 0 luxes, y como límite superior los 800 luxes, debido a que es aproximadamente el límite superior para la iluminancia en espacios interiores mencionado en la norma RETILAP.

RESULTADOS

DISEÑO DE DISPOSITIVOS SOBRE LOS CUALES SE DESARROLLA EL EJERCICIO:

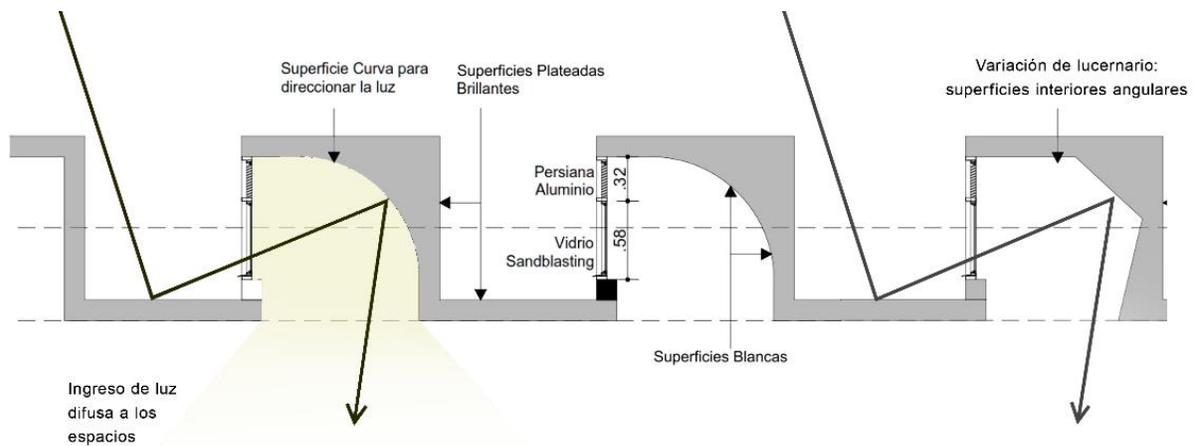


ILUSTRACIÓN 11 – DETALLE CONSTRUCTIVO DEL PROYECTO

Esquema de elaboración propia basado en detalle del proyecto.

Los tragaluces de la IE San Antonio originalmente son diseños complejos que se basan en el principio de la reflexión de la luz. Los rayos de luz se reflejan inicialmente en superficies plateadas brillantes que generan un efecto tipo espejo, y los direccionan hacia el interior del tragaluz a través de un vidrio sandblasting. La luz entonces rebota sobre la superficie curva o angular en diferentes direcciones e ingresa al espacio. El paso por el vidrio sandblasting, así como el hecho de tener 2 puntos de reflexión antes de ingresar al espacio, convierten los rayos de luz directa en luz difusa, que ilumina los espacios homogéneamente, buscando iluminar el espacio, pero hacerlo teniendo en cuenta la calidad lumínica del espacio.

Independiente de los lucernarios, la fachada es un elemento que juega un papel esencial a la hora de abastecer las aulas con abundante luz natural, y a su vez está dotada de varias estrategias de diseño orientadas a garantizar el confort. La fachada de las aulas se compone de una serie de ventanales verticales de 0.68cm de ancho abarcadas entre quiebrasoles de ladrillos que se impiden la incidencia de rayos solares directos. Adicionalmente, las ventanas superiores son abatibles, y tienen vidrio sandblasting, lo cual asegura la posibilidad de ventilación y flujo del aire, además de un difusor de luz directa.

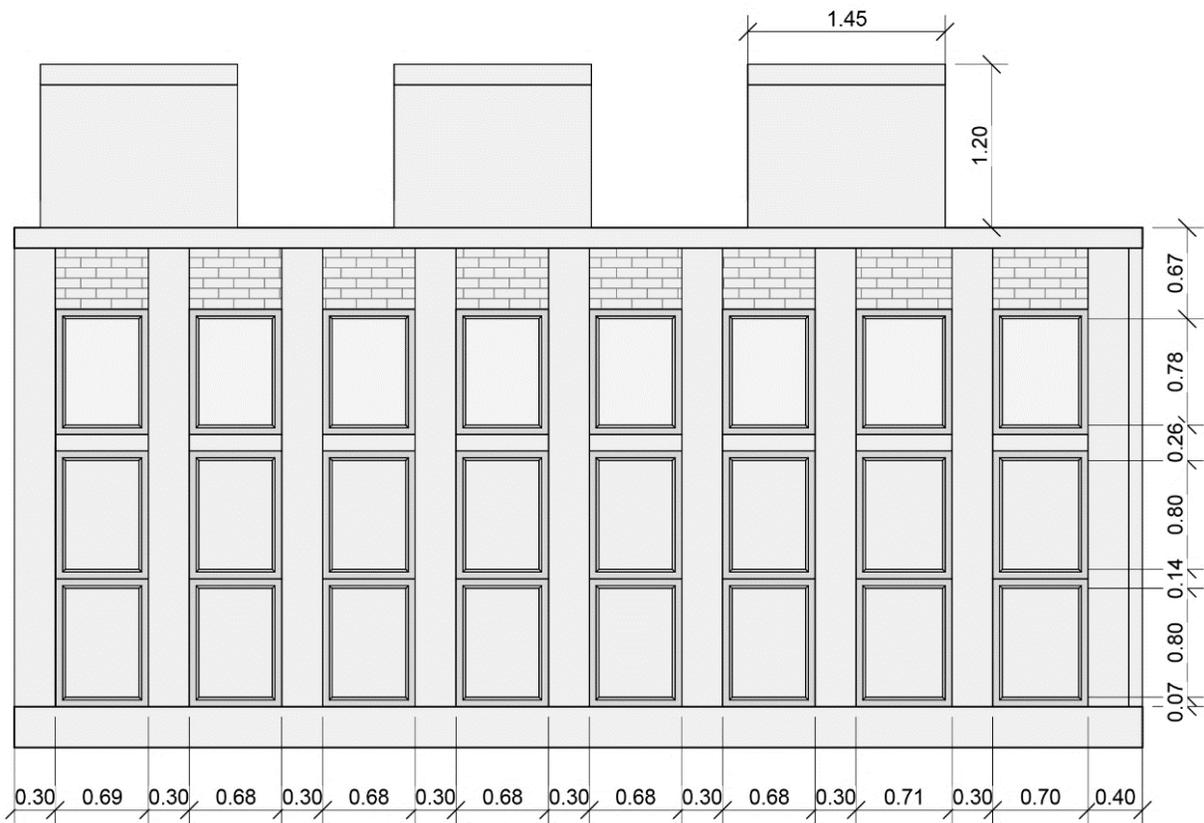


ILUSTRACIÓN 12 – FACHADA ESTE

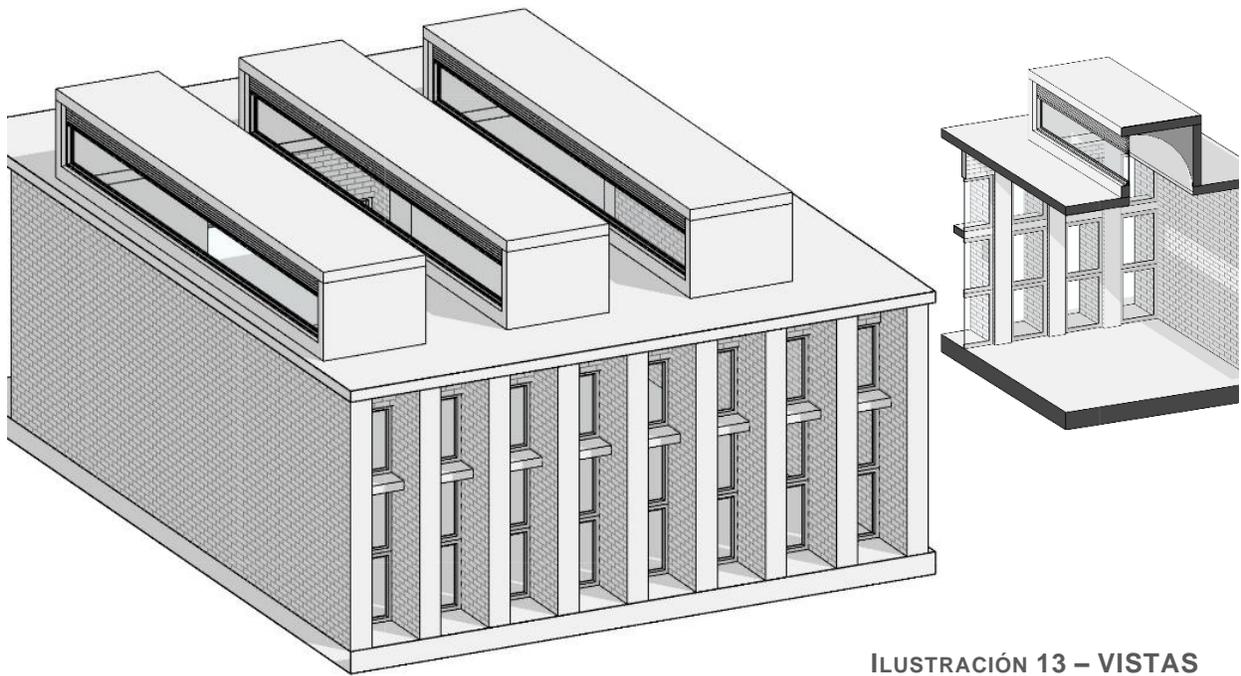
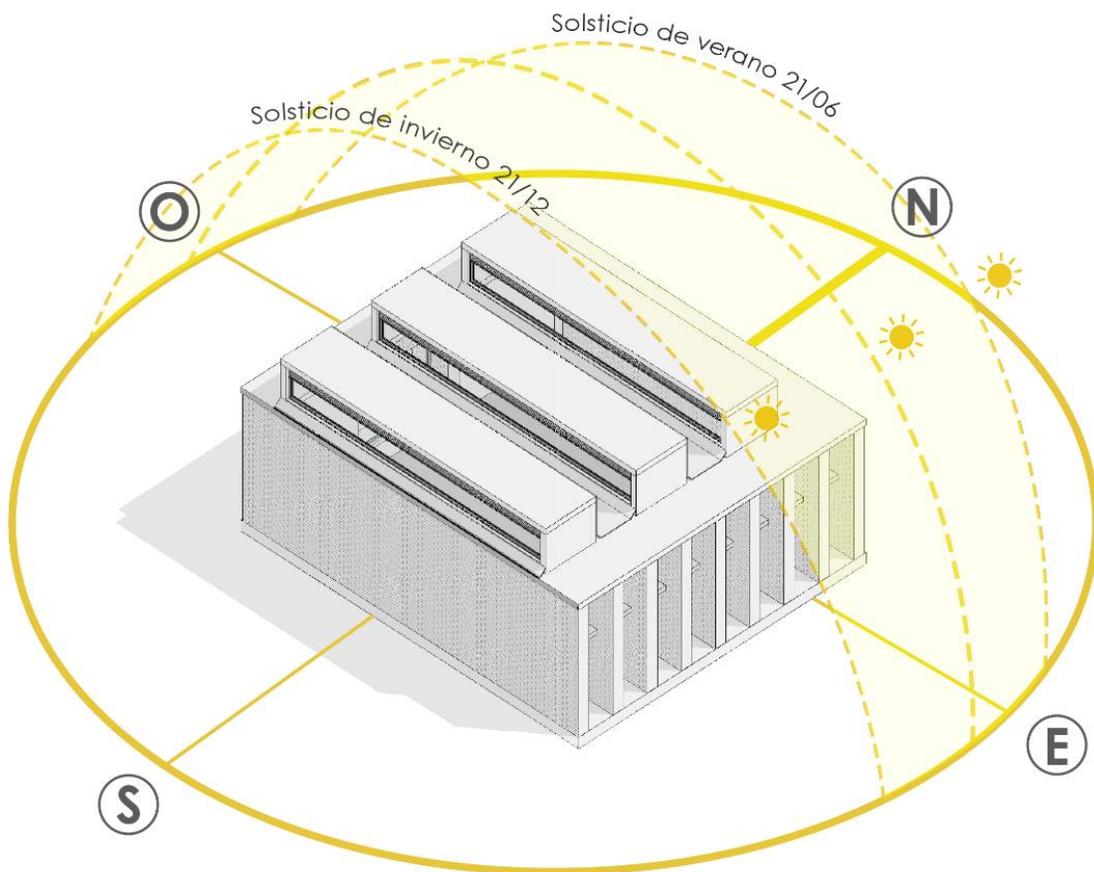


ILUSTRACIÓN 13 – VISTAS AXONOMÉTRICAS

ESQUEMA DE ASOLEAMIENTO:

ILUSTRACIÓN 14 – ASOLEAMIENTO



CONSIDERACIONES DE MATERIALES EN LA SIMULACIÓN:

Dentro del programa, se recomienda trabajar los materiales en escala de grises, ya que solo se mide la interacción entre la luz y las superficies, y la reflectancia del material se determina ajustando los valores RGB. Es decir, si un material tiene una reflectancia de 0.4, se asigna ese mismo valor para Rojo, Verde, y Azul.

VIDRIO EN FACHADAS: Transmitancia: 0.75

VIDRIO DE TRAGALUCES: Transmitancia: 0.65

VIDRIO SANDBLASTING DE FACHADA: Transmitancia: 0.55

SUPERFICIES REFLEXIVAS: Reflectancia: 0.45

SUPERFICIES NO REFLEXIVAS: Reflectancia: 0.3

VARIACIONES FORMALES EN LOS DISPOSITIVOS:

AULA CON TRAGALUCES ORIGINALES

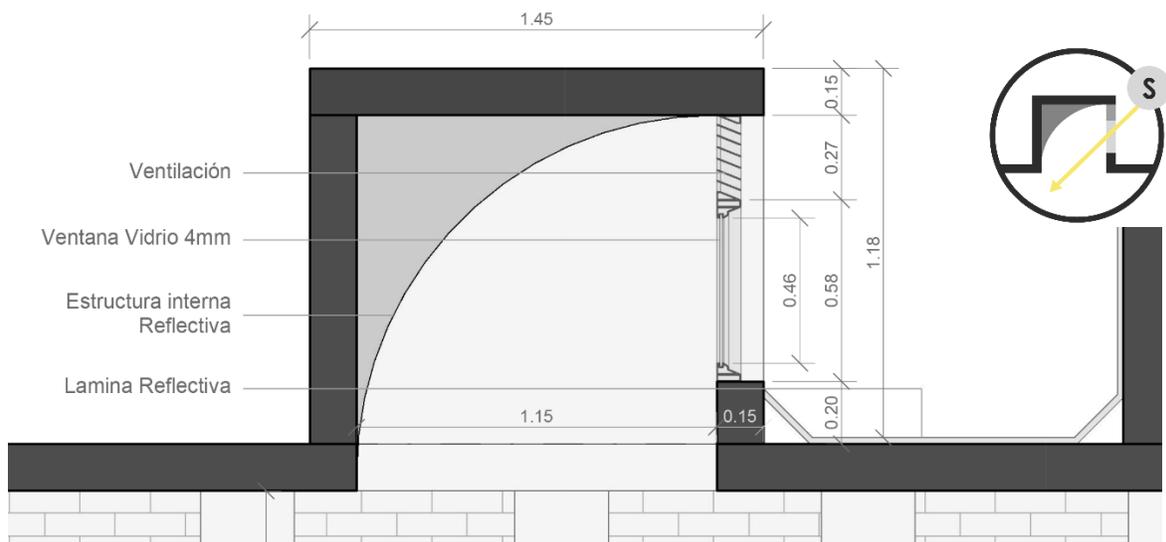
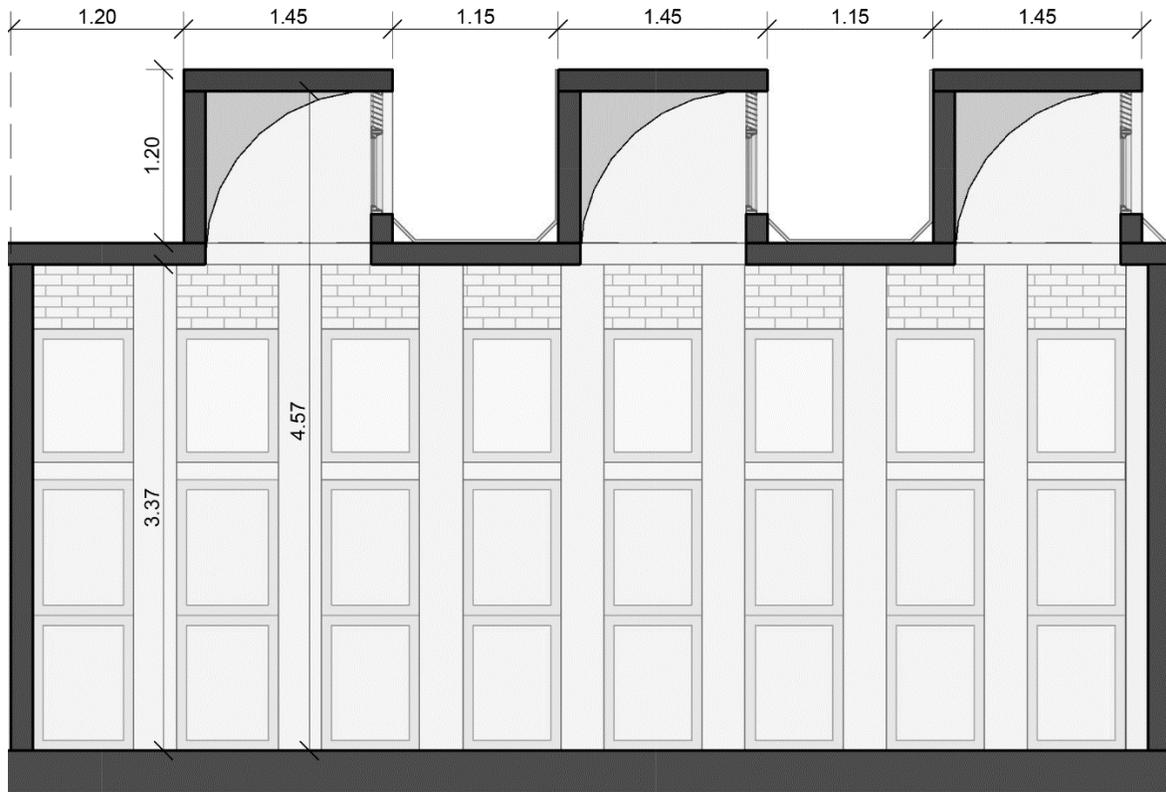


ILUSTRACIÓN 15 – TRAGALUZ ORIGINAL

Tragaluz Original, con apertura hacia el Sur. Incidencia de rayos solares indirecta con dos puntos de reflexión en laminas reflectivas exteriores, y estructura interna.

AULA CON TRAGALUCES DIRECTOS

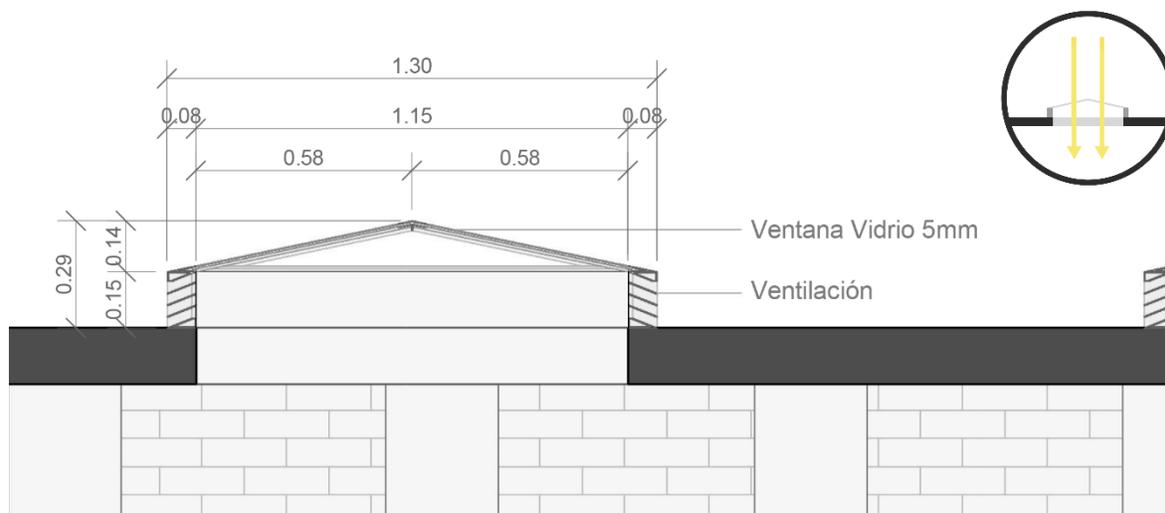
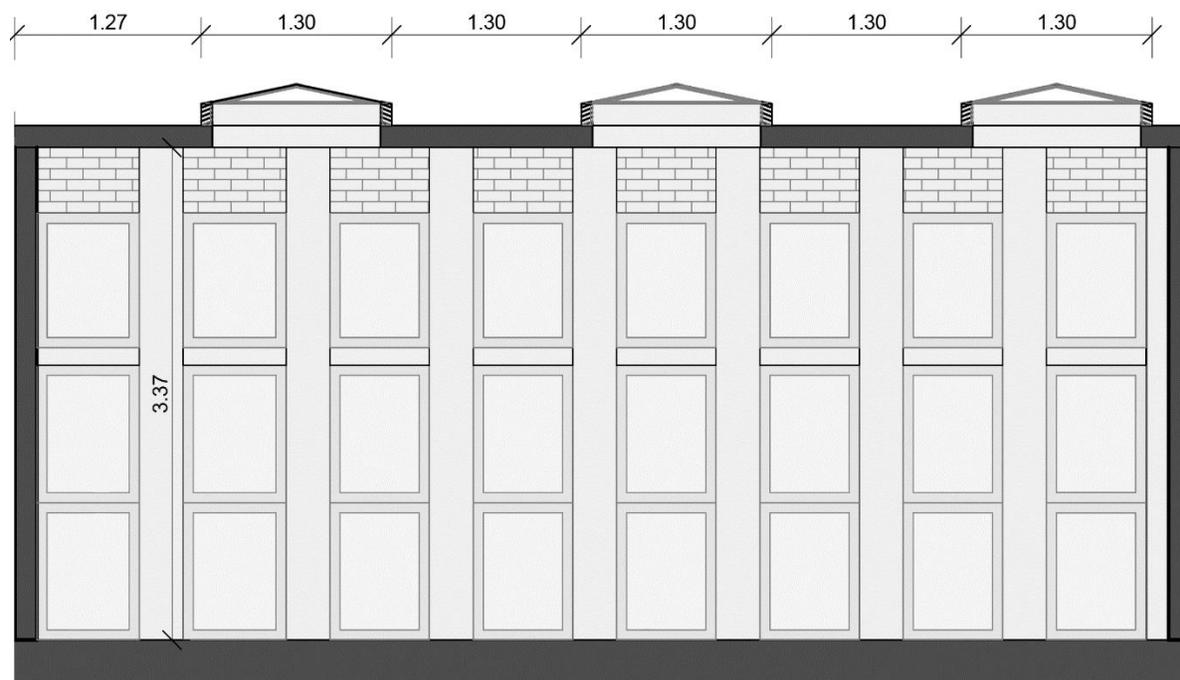


ILUSTRACIÓN 16 – TRAGALUZ DIRECTO

Tragaluz con incidencia de rayos solares directa, pendiente de 11° para el drenaje del agua.

AULA CON TRAGALUCES INCLINADOS

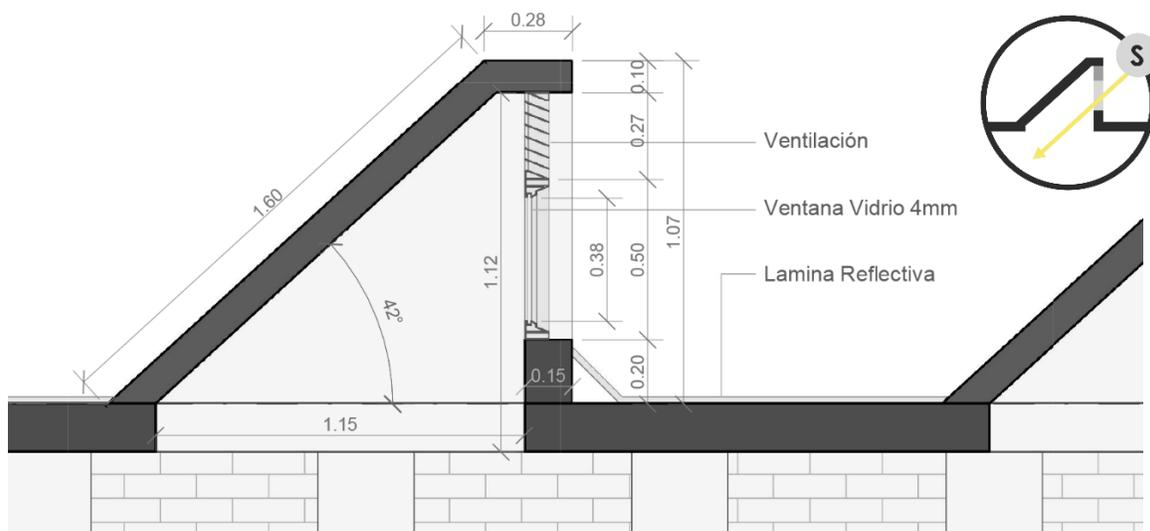
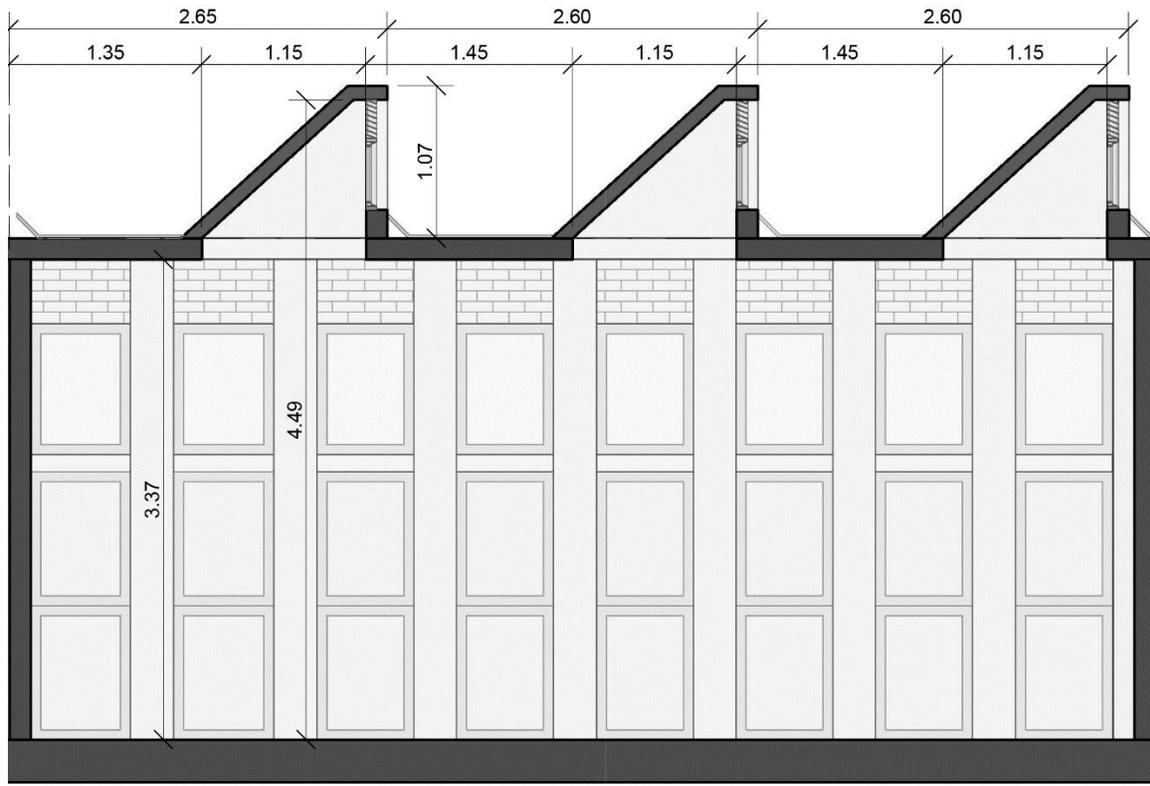


ILUSTRACIÓN 17 – TRAGALUZ INCLINADO

Tragaluz inclinado de apertura hacia el sur. Incidencia de rayos solares indirectos con dos puntos de reflexión en laminas reflectivas exteriores y cubierta inclinada.

AULA CON TRAGALUCES A DOS LADOS

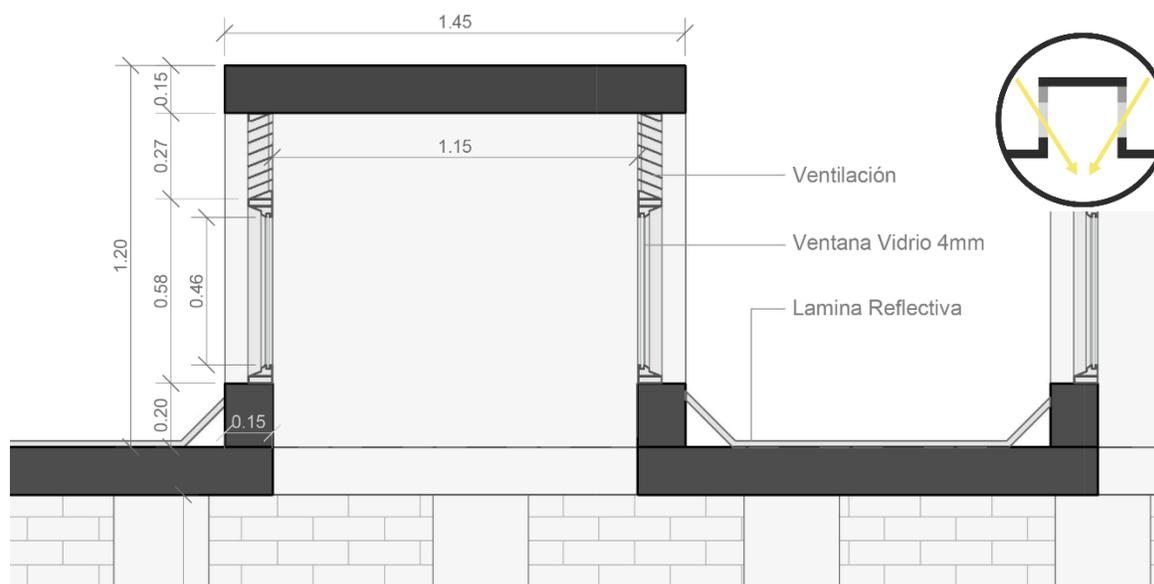
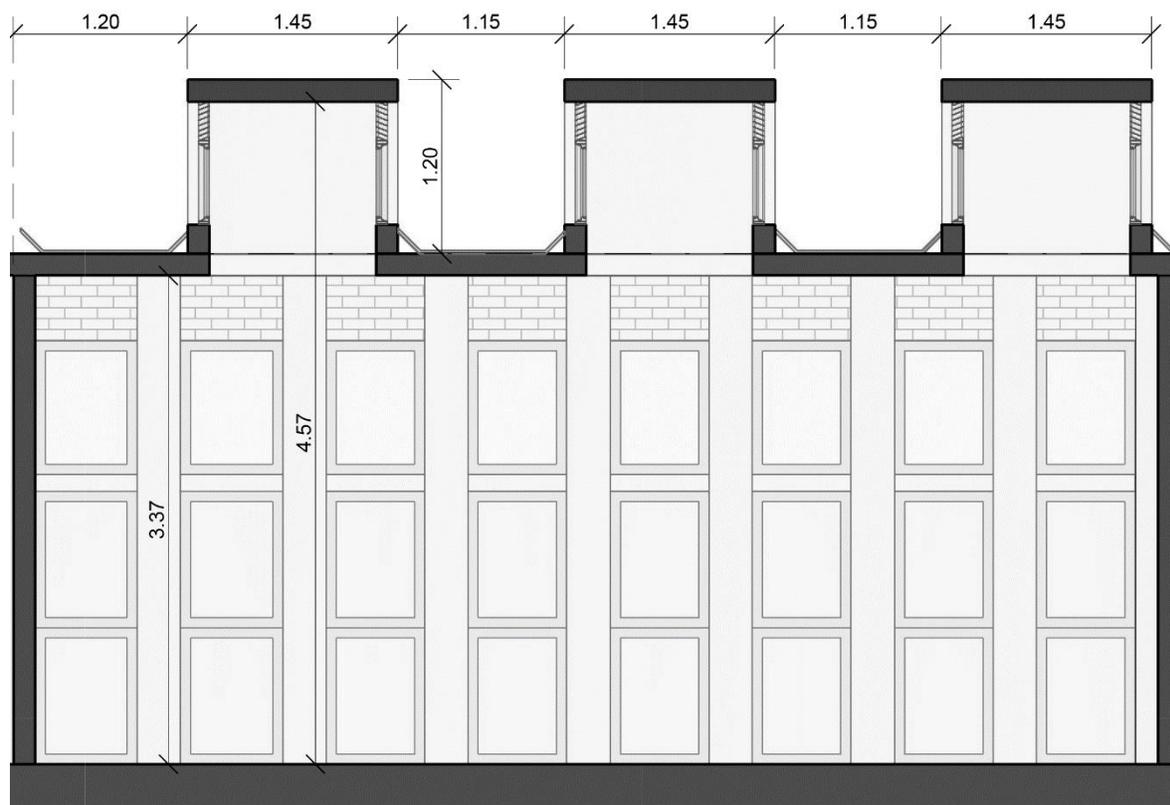


ILUSTRACIÓN 18 – TRAGALUZ A DOS LADOS

Tragaluz con aperturas a ambos lados. Incidencia de luz semi directa, sin puntos de reflexión internos.

SIMULACIONES:

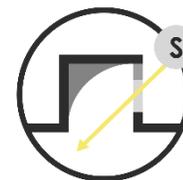


TABLA TRAGALUZ ORIGINAL (HACIA EL SUR)

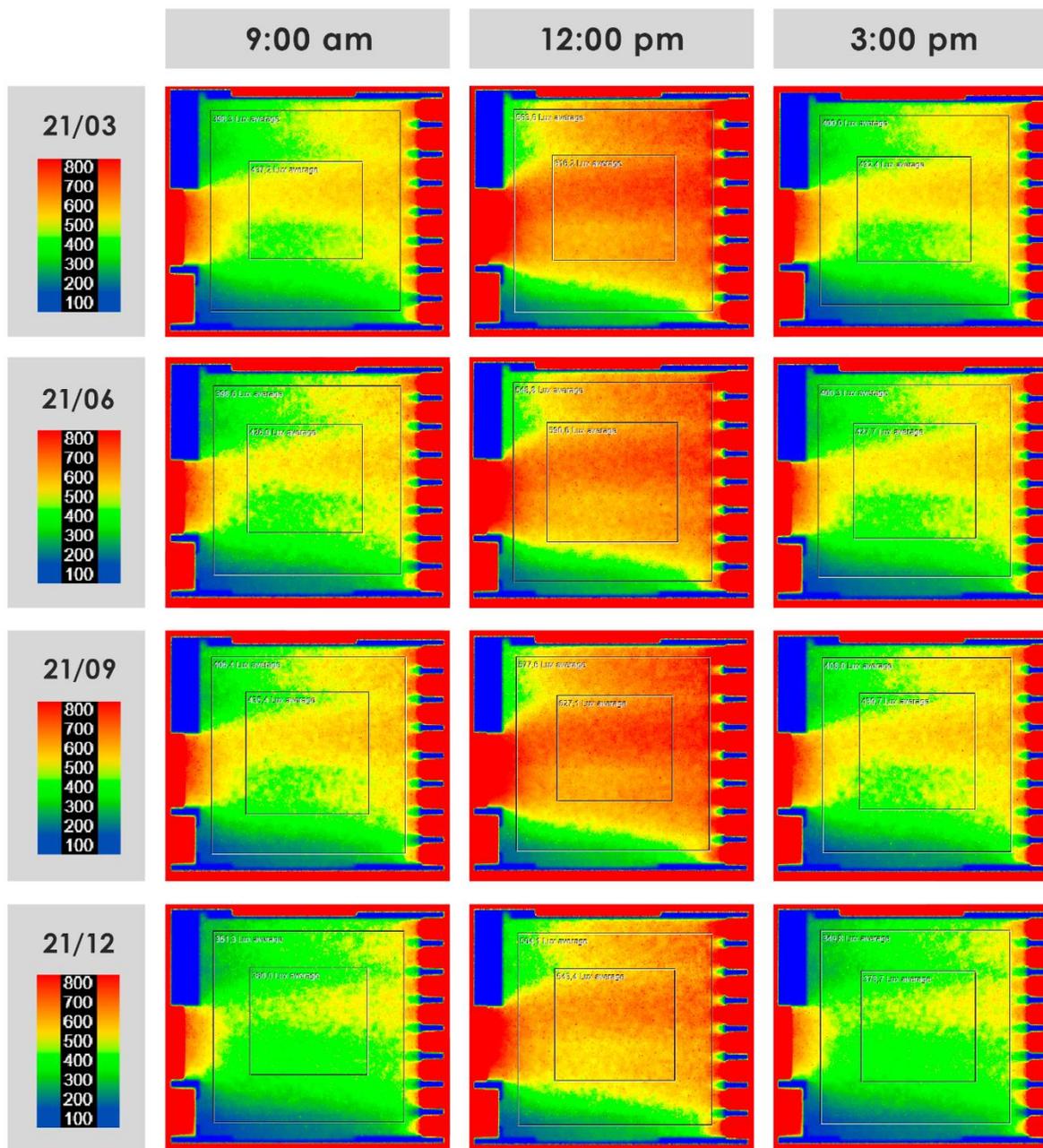


TABLA 2 – TRAGALUZ ORIGINAL SUR

TABLA TRAGALUZ ORIGINAL (INVERTIDO HACIA EL NORTE)

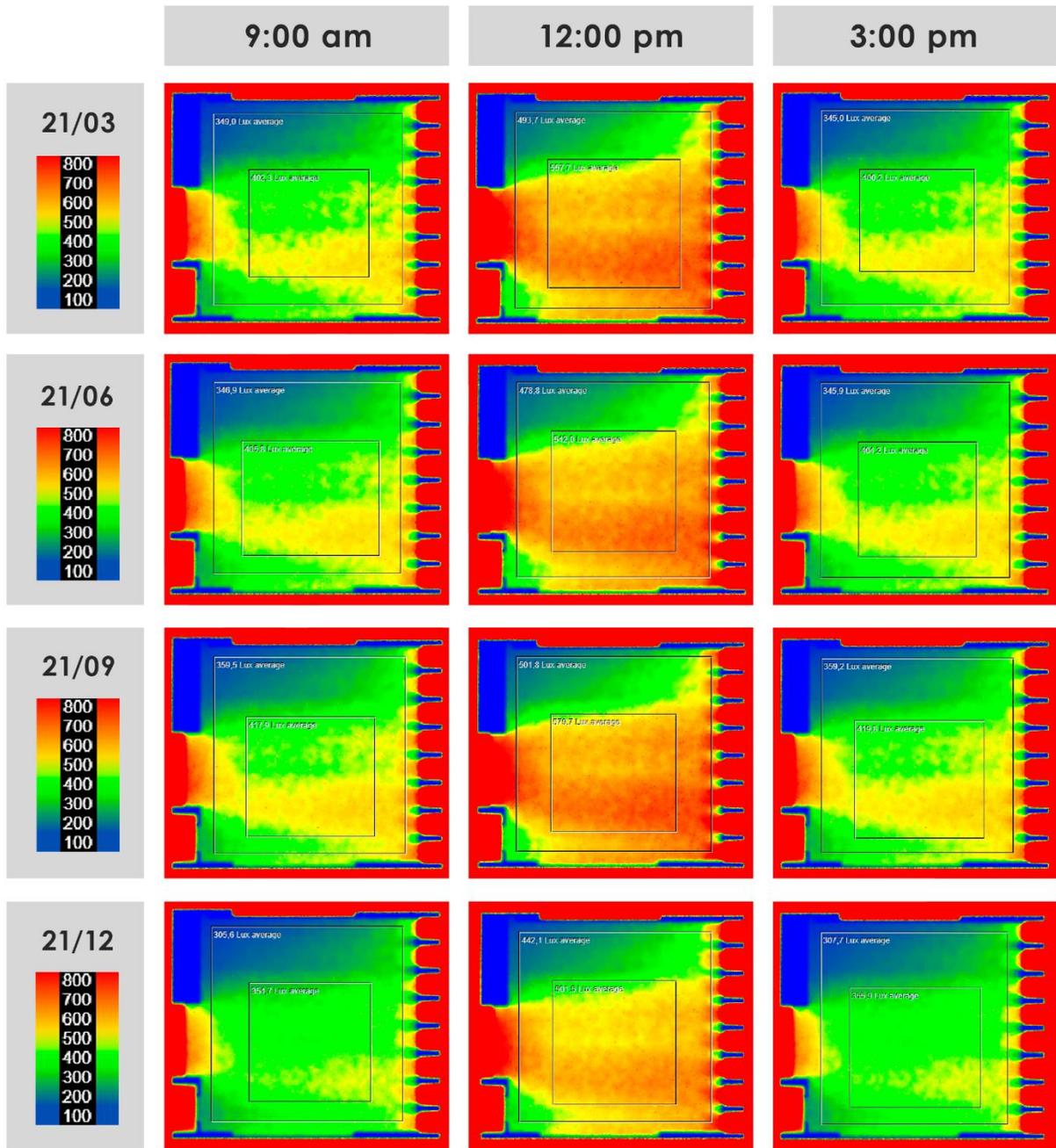
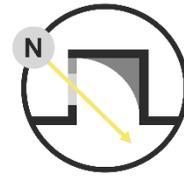


TABLA 3 – TRAGALUZ ORIGINAL NORTE

TABLA TRAGALUZ INCIDENCIA DIRECTA

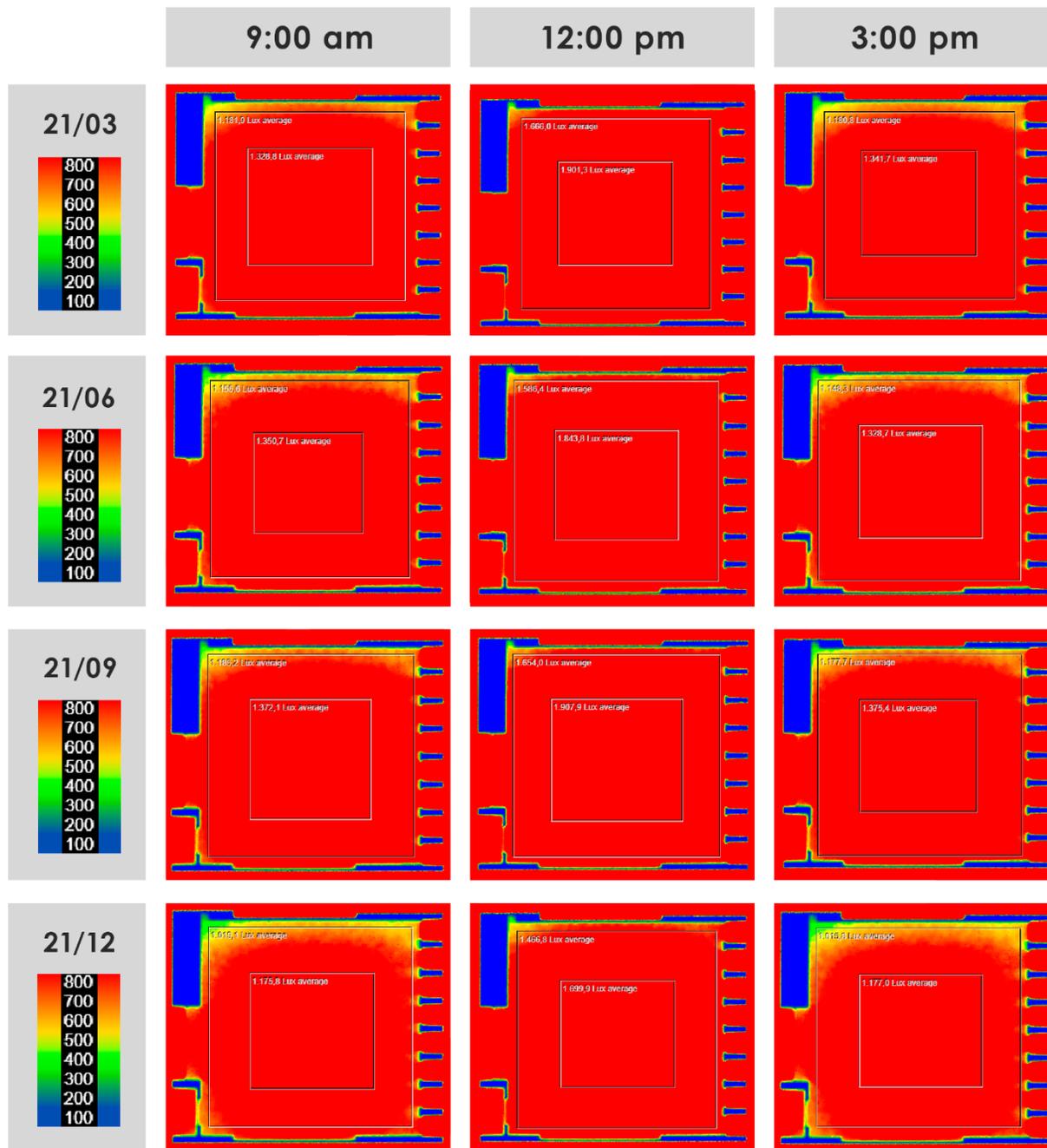
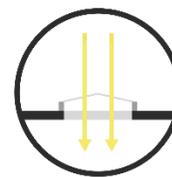


TABLA 4 – TRAGALUZ DE INCIDENCIA DIRECTA

TABLA TRAGALUZ INCLINADO (HACIA EL SUR)

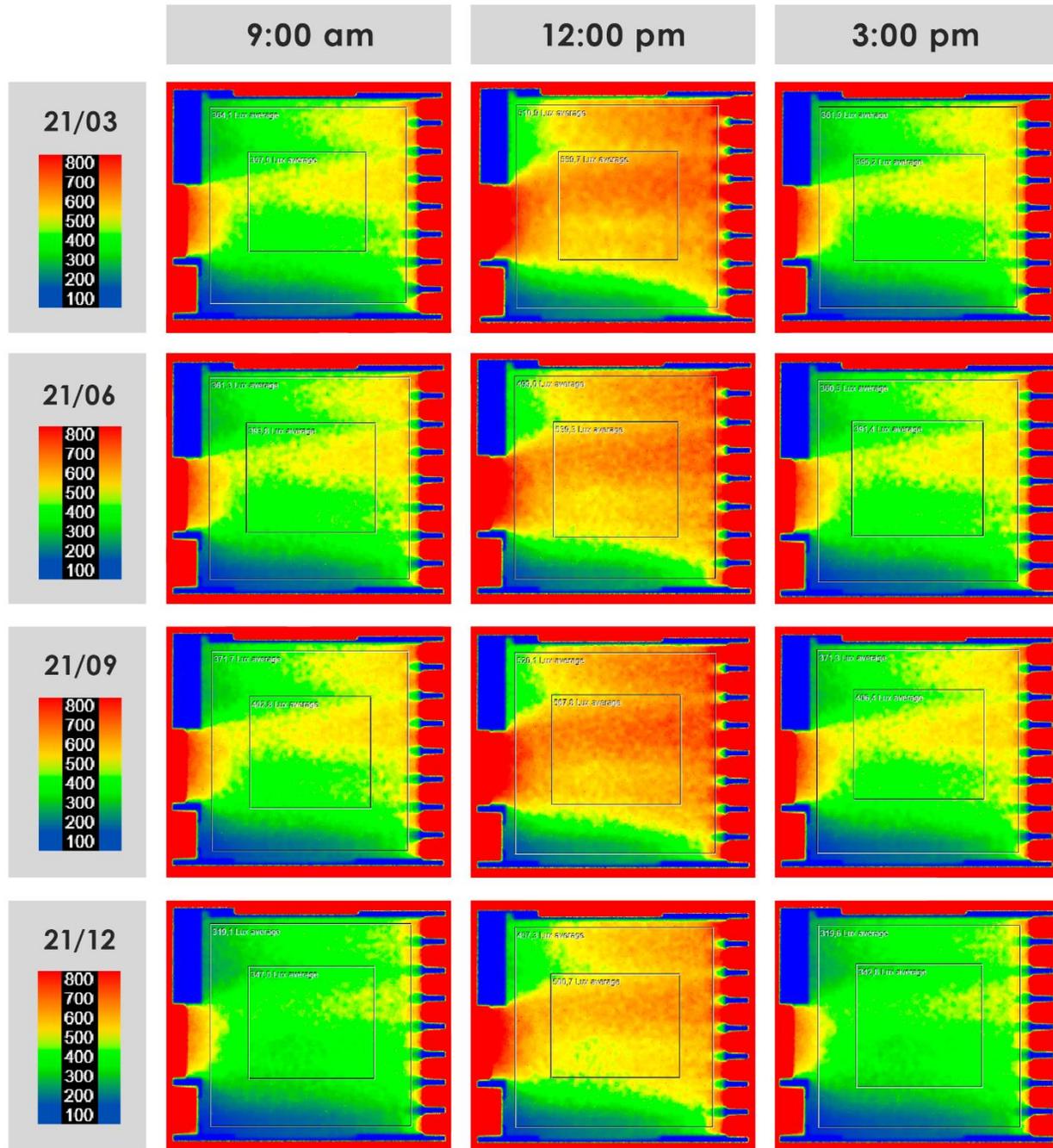
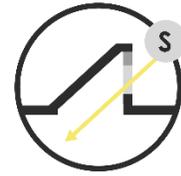


TABLA 5 – TRAGALUZ INCLINADO SUR

TABLA TRAGALUZ INCLINADO (INVERTIDO HACIA EL NORTE)

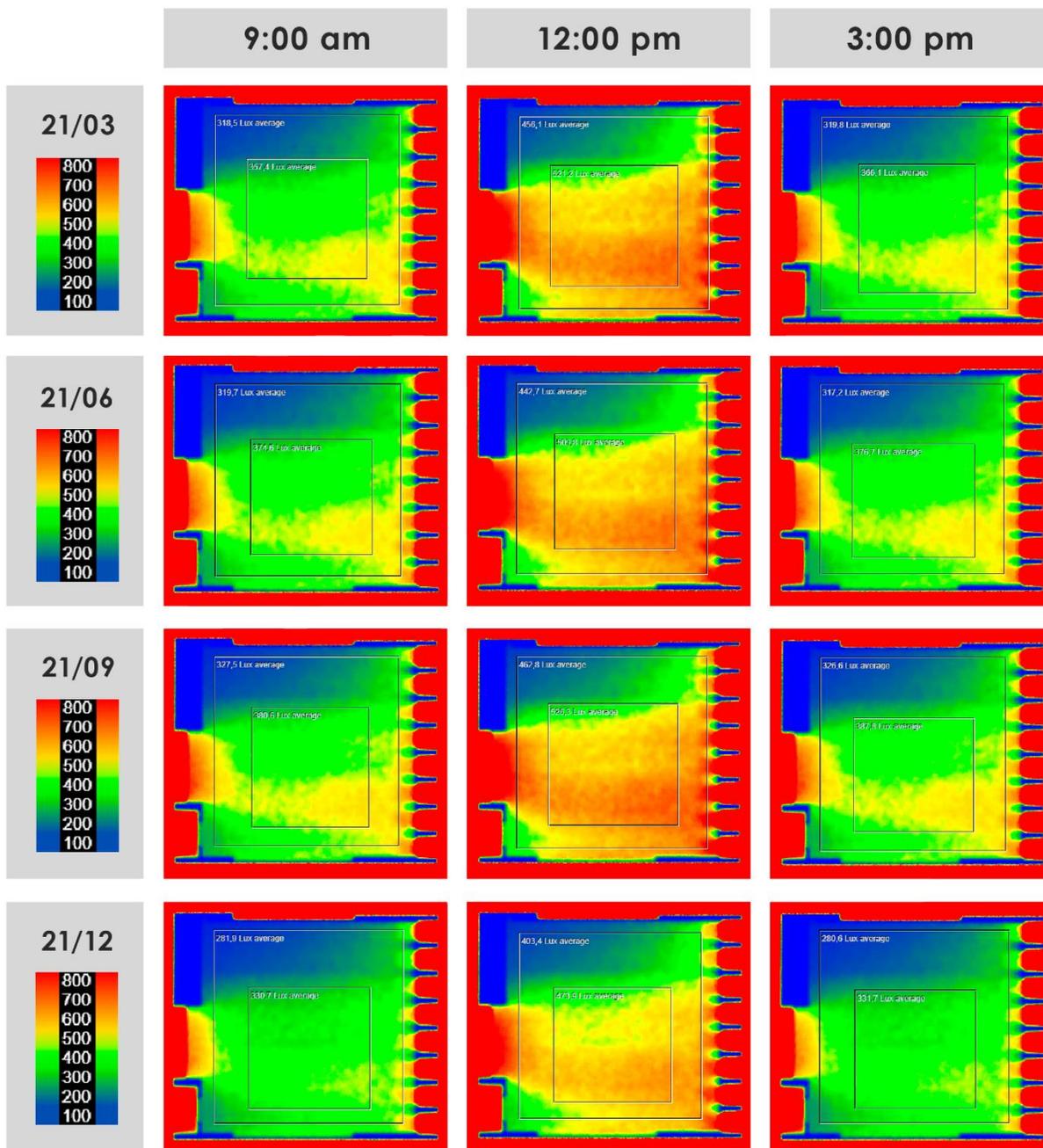
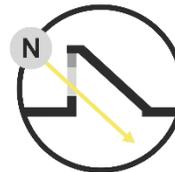


TABLA 6 – TRAGALUZ INCLINADO NORTE

TABLA TRAGALUZ A DOS LADOS

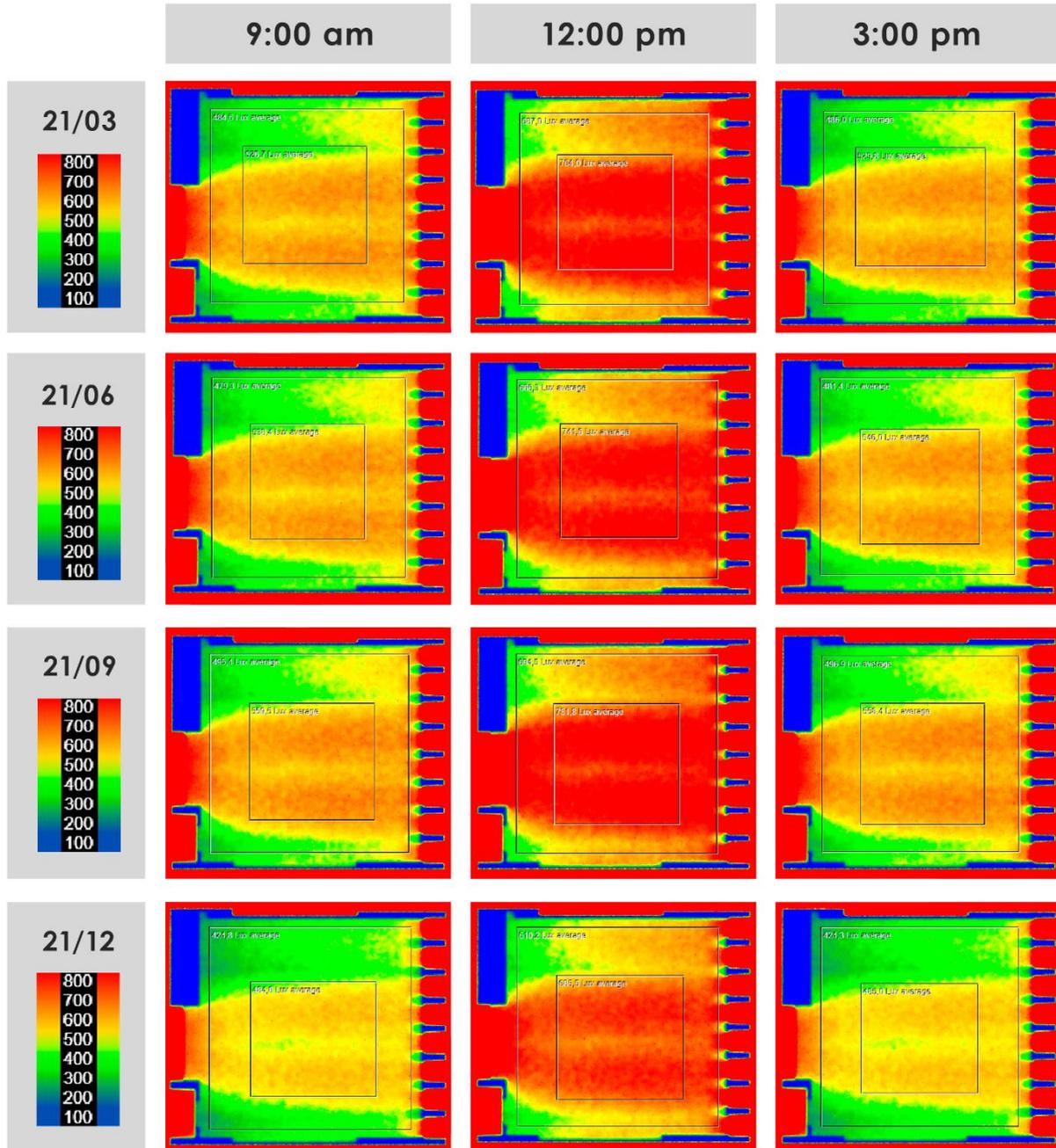
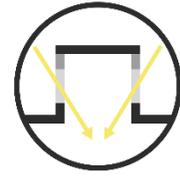


TABLA 7 – TRAGALUZ ABIERTO A DOS LADOS

TABLA AULA SIN TRAGALUCES

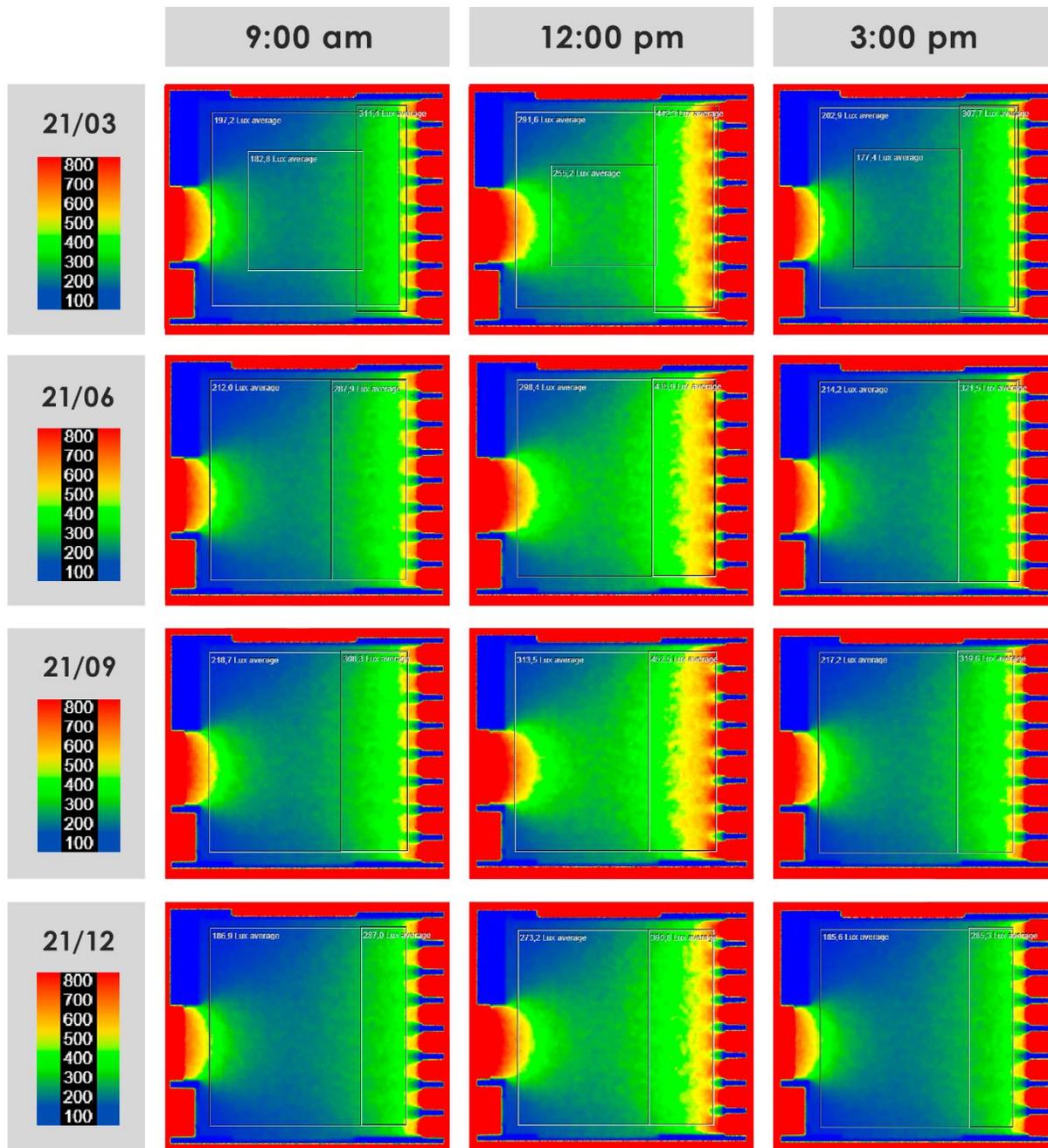


TABLA 8 – AULA SIN TRAGALUZ

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En primer lugar, se evidencia la diferencia abismal que genera la presencia de los tragaluces, cuando comparamos los resultados de las aulas en cuanto a la iluminancia en la superficie de trabajo. Podemos ver que el aula sin tragaluces alcanza niveles óptimos de iluminancia únicamente cerca de las fachadas, donde recibe alrededor de 430 luxes al medio día. Sin embargo, en el área central del salón, la iluminancia se mantiene en aproximadamente 250 luxes al medio día, lo cual no se considera una apropiada iluminación para un salón de clase. La situación empeora más aún durante las horas de la mañana y tarde, cuando el área central llega apenas a los 180 luxes en promedio.

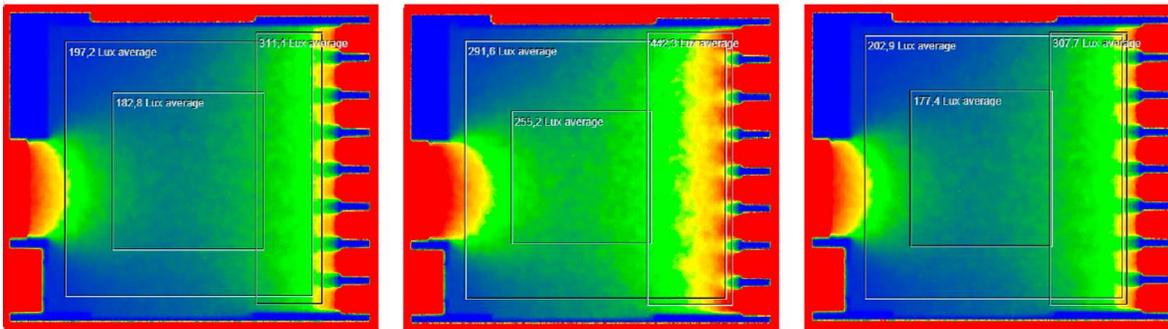


ILUSTRACIÓN 19 – AULA SIN TRAGALUCES EN MARZO: 9:00, 12:00, 3:00

Por otro lado, la iluminancia en las aulas con tragaluces, aunque varía mucho debido a la diversidad formal de los dispositivos, nunca baja de los 450 luxes en promedio al medio día, ni de los 310 luxes en promedio en las horas de mañana y tarde (Datos correspondientes al tragaluz con menor canalización de luz: El inclinado abierto hacia el norte). Condiciones que se acercan mucho más al estándar ideal para ambientes de concentración y aprendizaje.

ILUMINANCIA GENERAL

Para unificar los resultados, y comparar más específicamente el desempeño de los lucernarios durante el día, se obtiene un promedio de iluminancia en las aulas para cada momento analizado. Posteriormente se promedian todos los valores de los cuatro meses en una hora específica (9:00, 12:00, 3:00). De esta manera, se sintetizan los resultados en la iluminancia a una hora determinada sobre un promedio de sus condiciones anuales. Esta síntesis cuantitativa permite entonces indentificar con facilidad que tragaluces tienen mas capacidad de canalización de luz, y cuales tienen menos en una escala general.

TRAGALUZ		9:00	12:00	3:00
Inclinado abierto hacia el norte		311.9 lx	441.25 lx	311.05 lx
original abierto hacia el norte		340.25 lx	479.1 lx	339.45 lx
inclinado abierto hacia el sur		354.05 lx	496.82 lx	353.42 lx
original abierto hacia el sur		388.65 lx	548.52 lx	389.52 lx
Abierto a dos lados		471.02 lx	664.5 lx	472.15 lx
Incidencia directa		1135.7 lx	1593.3 lx	1130.65 lx
Sin Tragaluz		203.7 lx	294.17 lx	204.97 lx

TABLA 9 – SÍNTESIS PROMEDIO DE ILUMINACIÓN POR HORAS

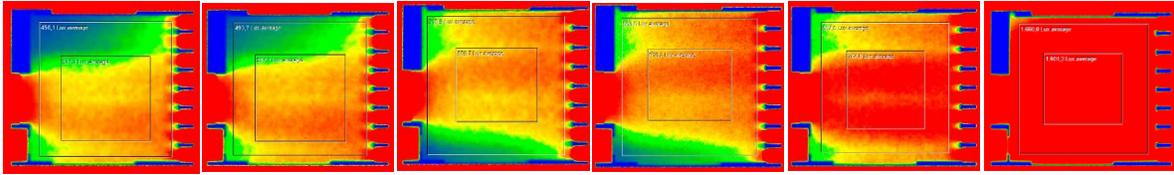


ILUSTRACIÓN 20 – TRAGALUCES EN MARZO 12:00PM

En la figura anterior, se observan de izquierda a derecha las condiciones de los tragaluces: Inclinado abierto hacia el norte, original abierto hacia el norte, inclinado abierto hacia el sur, original abierto hacia el sur, abierto a dos lados, e incidencia directa. Estas simulaciones corresponden a marzo a las 12:00, como ejemplificación de la tendencia de diferentes desempeños de los tragaluces en un mismo momento.

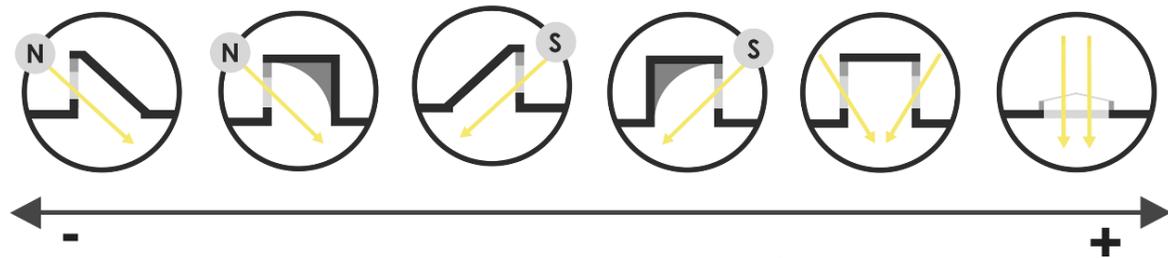


ILUSTRACIÓN 21 – ESCALA CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE LUZ

CALIDAD LUMÍNICA

En adición a la cantidad de luz captada por los dispositivos, es crucial entender que más canalización de luz no necesariamente representan mejores condiciones. La calidad lumínica se determina midiendo la homogeneidad de la iluminancia en el plano de trabajo, y determinando si esta luz que ingresa es luz directa o difusa, entendiendo los mecanismos internos (o la falta de estos) en el diseño del dispositivo.

Vemos entonces que el tragaluz más deficiente de lejos para asegurar un óptimo confort lumínico dentro del aula es el tragaluz de incidencia directa. Este dispositivo no tiene ningún tipo de mecanismo interno ni estructura que redireccione los rayos de luz, generando una incidencia directa de los rayos solares sobre los escritorios. Debido a esto, la iluminancia promedio es de 1593.3 luxes (general 12:00), lo cual sobrepasa el límite de iluminancia definido para el confort, además de ser una luz directa, que hará mayor el riesgo de deslumbramiento, y causará una alta fatiga luego de mucho tiempo de exposición.

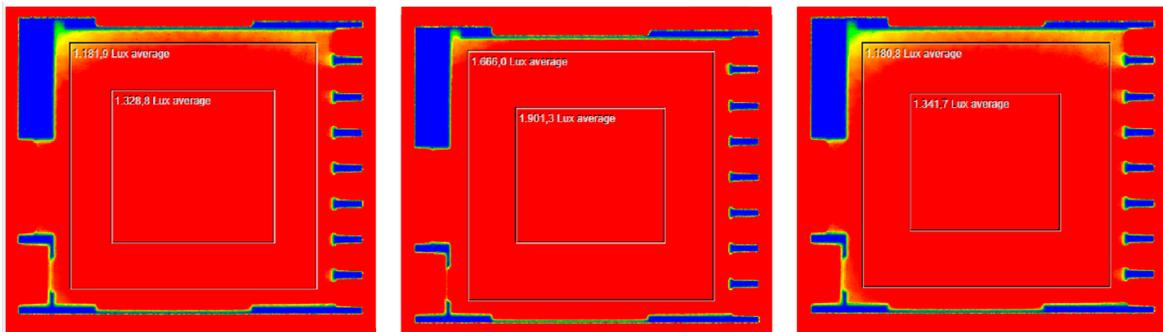


ILUSTRACIÓN 22 – SIMULACION TRAGALUZ DIRECTO MARZO: 9:00 12:00 3:00

Otro tragaluz que no logra satisfacer las expectativas de confort es el tragaluz de dos lados, el cual alcanza niveles de iluminancia más adecuados que el anterior, pero igualmente excede el ideal estimado de 500 lx, alcanzando hasta a los 781 lx en septiembre en el área central, a las 12:00. A pesar de esto, su debilidad más demarcada, es posiblemente su insuficiente capacidad de distribución de iluminancia en el plano de trabajo. Este tragaluz no permite la incidencia de los rayos de sol completamente directos, pero al tener doble apertura, y no tener ningún punto de reflexión interno, permite un mayor ingreso de la luz, y como vemos en la simulación, no existe una buena homogeneidad de iluminancia en el plano. Se evidencia como en durante todo el día, las filas C, D, E,F,G se

encuentran considerablemente más iluminadas que el resto del salón. (760 luxes a medio día, y 680 luxes en promedio por la mañana y tarde.) Mientras que los extremos del salón se encuentran aproximadamente a 550 luxes a medio día, y a 380 luxes por la mañana y tarde.

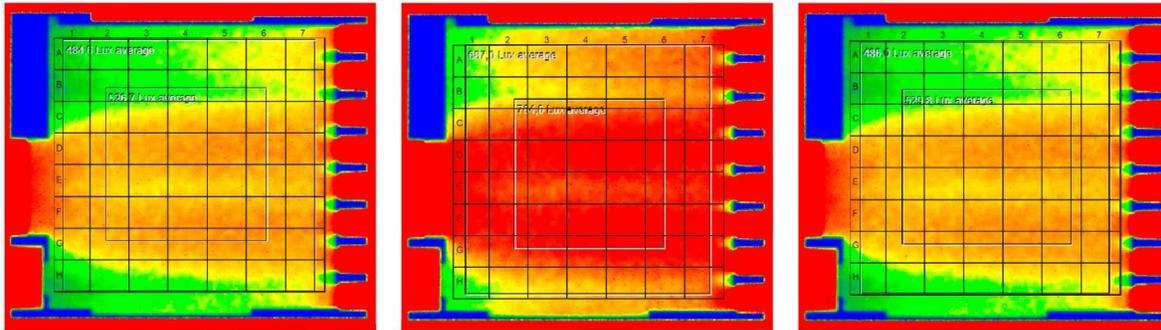


ILUSTRACIÓN 23 – TRAGALUZ ABIERTO A DOS LADOS MARZO 9:00, 12:00, 3:00

En cuanto a los otros tragaluces abiertos solo por un lado, existe un estándar mucho mejor en cuanto a calidad lumínica, donde, los tragaluces originales permiten ligeramente mayor ingreso de luz que los tragaluces inclinados. Se evidencia un óptimo rango de iluminancia donde como límite superior, el tragaluz que más luz canaliza (original abierto hacia el sur), nunca supera los 630 en su momento del año más iluminado (Septiembre 12:00). En cuanto al límite inferior, el tragaluz que menos luz canaliza (inclinado abierto hacia el norte) nunca baja de los 330 en las horas de la mañana y la tarde en su mes más oscuro (diciembre).

Ahora bien. **¿Qué hace que los tragaluces inclinados y originales sean mejores que los otros diseños?** Estos modelos comparten una cualidad clave, que les aseguró un desempeño muy superior a las otras variables: se trata de sus dos puntos de reflexión internos. Las superficies reflectivas tanto dentro de la estructura interna del tragaluz como las de los costados, las cuales no son del todo especulares, se encargan de descomponer los rayos de sol en diferentes

direcciones, perdiendo una pequeña fracción de energía en cada reflexión. Estas condiciones permiten la regulación de cantidad de luz que ingresa al espacio, y asegura una excelente calidad en la medida que solo ingresa la luz difusa por 2 o más puntos de reflexión, que se distribuye equitativamente en el plano de análisis.

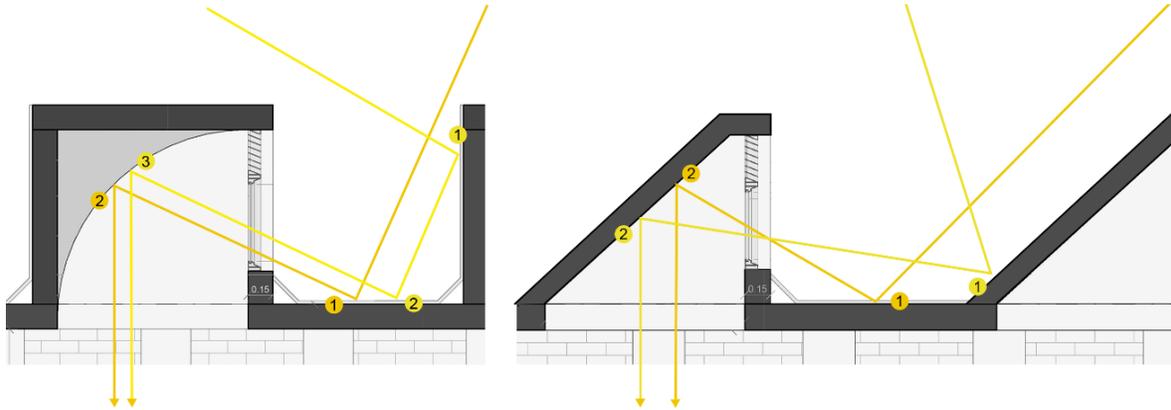


ILUSTRACIÓN 24 – PUNTOS DE REFLEXIÓN

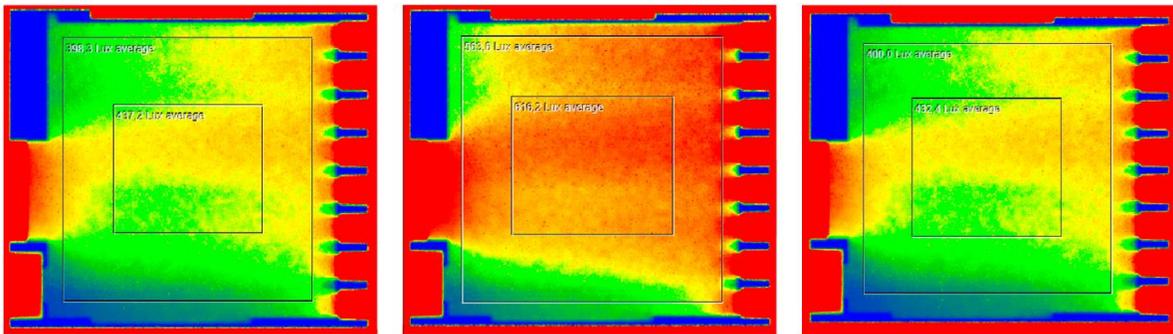


ILUSTRACIÓN 25 – TRAGALUZ ORIGINAL SUR MARZO 9:00 12:00 3:00

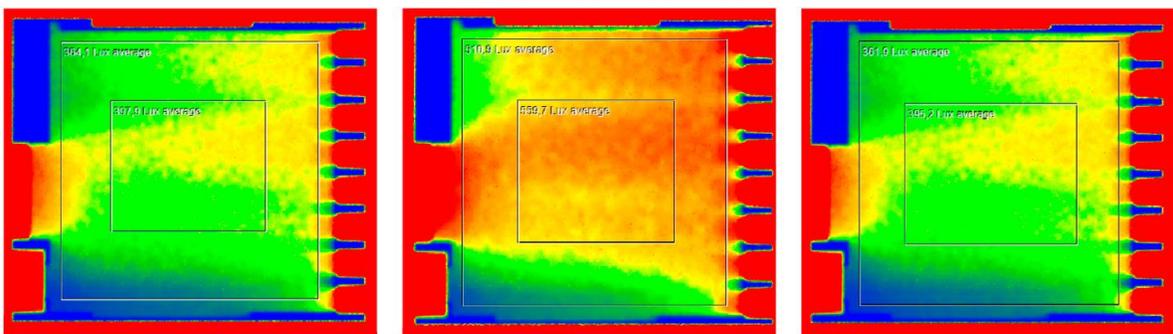


ILUSTRACIÓN 26 – TRAGALUZ INCLINADO SUR MARZO 9:00 12:00 3:00

ORIENTACIÓN NORTE – SUR

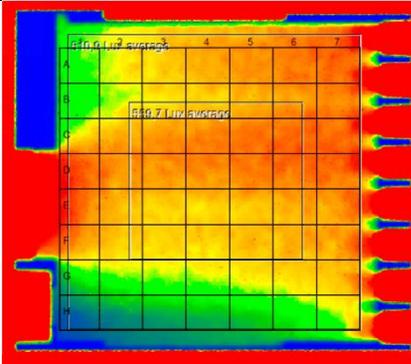
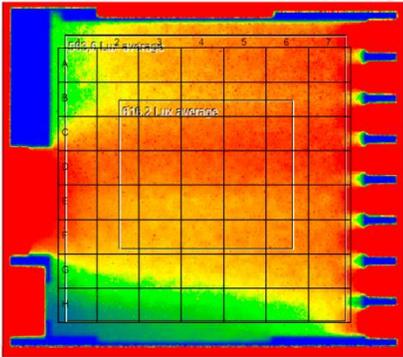
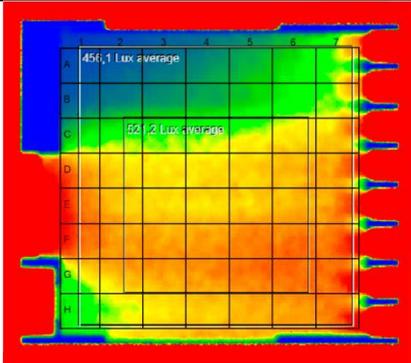
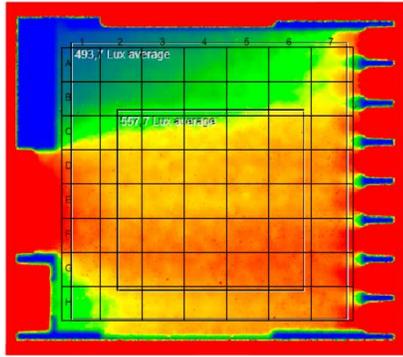
	TRAGALUZ INCLINADO	TRAGALUZ ORIGINAL
APERTURA SUR	 <p>510.9 LUX PROMEDIO</p>	 <p>563.6 LUX PROMEDIO</p>
APERTURA NORTE	 <p>456.1 LUX PROMEDIO</p>	 <p>493.7 LUX PROMEDIO</p>

TABLA 10 – COMPARACIÓN ORIENTACIÓN

Además de las diferencias en forma y complejidad, la orientación es un factor que demostró ser muy influyente en los resultados. Evidentemente, tragaluces con aperturas al este y al oeste generarían una inmensa diferencia entre las condiciones a lo largo del día, haciéndolos inviables. Sin embargo, no es tan claro qué diferencia pueden tener los lucernarios con aperturas hacia el norte o el sur, especialmente en el trópico, dónde el camino del sol no se varía tanto en cuanto a su ángulo de incidencia.

Según los resultados, sí existe una ligera diferencia entre las condiciones de los lucernarios abiertos hacia el norte y hacia el sur, siendo los lucernarios abiertos hacia el sur los más efectivos en canalizar e ingresar la luz al salón de clase en ambos casos. Adicionalmente, podemos ver que ambos logran un máximo de iluminancia similares, pero en los orientados hacia el norte podemos ver que la luz está distribuida de una forma mucho más heterogénea en el plano de análisis.

En cuanto a la explicación de este fenómeno, es cierto que al estar ligeramente al Norte del Ecuador, en generalidad durante el año, se recibirá más luz desde el Sur. Esta diferencia es posible que explique parcialmente el mejor desempeño de los tragaluces abiertos hacia el sur, pero no completamente. La otra razón, tiene que ver con la distribución de la luz en el espacio. Como se puede observar en los tragaluces hacia el sur, el área más iluminada está ubicada en el centro, y los lados del salón se encuentran ligeramente menos iluminados pero nunca por debajo del rango de confort. Por el contrario, en los tragaluces hacia el norte, el área más iluminada está más abajo, indicando que posiblemente la pared esté recibiendo parte importante de esta iluminación, mientras que los escritorios A1, A2, A3, A4, A5, B1, B2, B2, y B4, se encuentran muy deficientemente iluminados.

¿QUÉ TRAGALUZ RESPONDE MEJOR A LAS CONDICIONES Y NECESIDADES DEL AULA DE LA IE SAN ANTONIO?

Viendo los resultados, inicialmente quedan descartados el tragaluz de incidencia directa y el tragaluz abierto a ambos lados porque estos no cumplen con los lineamientos determinados para un buen confort visual, canalizando demasiada luz, o no distribuyéndola bien en el espacio. Adicionalmente, se descartan los tragaluces con aperturas hacia el norte, ya que por la misma complejidad de diseño, no son tan eficientes como sus opuestos con aperturas hacia el sur.

Finalmente quedamos con el tragaluz original abierto hacia el sur, el cual había sido el tragaluz diseñado por los arquitectos de la IE San Antonio para asegurar las mejores condiciones de confort posibles. De acuerdo con los resultados, podemos observar que este diseño genera unas muy apropiadas condiciones de iluminación, que bien podrían mejorar drásticamente la calidad de vida de los estudiantes de la IE San Antonio. A pesar de esto, este diseño es el más complejo de todas las variaciones, y su elemento interior curvo podría resultar muy costoso si se busca producir estos tragaluces en masa para una gran institución.

Así mismo, tenemos el tragaluz inclinado con apertura hacia el sur, que si bien logra niveles de iluminancia ligeramente menores que el tragaluz original, los resultados encajan perfectamente dentro de los lineamientos de iluminancia establecidos para el confort visual. Se puede decir que es casi tan efectivo como el original, siendo su diferencia casi imperceptible en la experiencia. Sin embargo, este diseño tiene la ventaja de que es considerablemente más sencillo en su construcción, y en lugar de un elemento curvo, solo requiere de una superficie inclinada y laminas reflectivas. Este entonces, sea tal vez el más adecuado para las necesidades de una gran institución pública como la IE San Antonio.

¿SON ESTOS LOS ÚNICOS TRAGALUCES FUNCIONALES?

El hecho de que los tragaluces descartados hayan tenido resultados desfavorables en el contexto específico de esta exploración, no significa que sus diseños sean “malos” ni que no sirvan para otros contextos.

Los tragaluces con incidencia directa tal vez puedan utilizarse óptimamente para espacios donde la cubierta se encuentre muy por encima del plano de trabajo, y sea de gran importancia canalizar la mayor cantidad de luz posible. Una forma de complementar el desempeño de este tragaluz es a través de la materialidad. Es decir, con un vidrio de menor transmitancia, un tratamiento como el vidrio sandblasting, o una superficie translúcida esmerilada, se podría regular el ingreso de luz, y asegurar el ingreso de luz difusa.

Los tragaluces abiertos a los lados al igual que los anteriores pueden mejorar sus condiciones con la implementación de difusores y superficies translúcidas esmeriladas.

Finalmente, para optimizar el funcionamiento de los tragaluces orientados hacia el norte, habría que cambiar la distribución de los vanos en las cubiertas para que la luz natural incida en el salón sobre en el área central, y no queden áreas mal iluminadas.

CONCLUSIONES

- Debido a su equilibrio entre excelentes resultados en cuanto a condiciones lumínicas, y un diseño no muy complejo, que podrá salir considerablemente más económico que el diseño original, se propone el tragaluz inclinado con apertura hacia el sur como el dispositivo que mejor se acopla a las condiciones de la situación.
- El simple hecho de poner una apertura en la cubierta, como las tejas translúcidas instaladas finalmente en la construcción, no implica confort lumínico.
- Se concluye que para que un dispositivo de captación de luz cenital pueda generar las condiciones más óptimas en condiciones como las analizadas, requiere de ciertas características formales como puntos de inflexión internos que redireccionen la luz, y la distribuyan homogéneamente sobre el área de trabajo.
- La metodología paramétrica apoyada en la simulación computacional es muy efectiva para poner a prueba diferentes variantes. Gracias a ella, se pudo identificar un diseño considerablemente más sencillo y económico que el originalmente diseñado, y que sobrepasa por creces las condiciones generadas por las tejas translúcidas finalmente implementadas. La construcción de la institución se hubiera beneficiado mucho de esta metodología al momento de requerir una alternativa que se acoplara a un bajo presupuesto (hipotéticamente) sin renunciar a calidad lumínica.

DISCUSIÓN Y LIMITACIONES

- Los resultados, así como la calificación por el funcionamiento de los tragaluces están basados exclusivamente en las condiciones climáticas y proyectuales de los salones del último piso de la IE San Antonio. Los mismos diseños que resultaron deficientes aquí, pueden ser óptimos en otro tipo de contextos, posiciones o materialidades, pero esta investigación solo cubre estas opciones hipotéticamente, y no se desarrollan pruebas ni simulaciones.
- El programa de simulación VELUX DAYLIGHT VISUALIZER funciona con su propia base climática con datos específicos de acuerdo con a las coordenadas del emplazamiento. Sin embargo no permite cargar el archivo de la base climática del José María Córdoba. Por consiguiente, es posible que las condiciones representadas en este programa no sean del todo precisas en cuanto a las condiciones reales del sitio. No obstante, esta posible falencia no afecta la comparación entre tragaluces (que es el principal objetivo del ejercicio).

BIBLIOGRAFÍA

Alberto Campo Baeza: «La luz es el material más lujoso que hay, pero como es gratis, no lo valoramos» - Jot Down Cultural Magazine. (s/f).

Recuperado el 5 de noviembre de 2023, de

<https://www.jotdown.es/2014/03/alberto-campo-baeza-la-luz-es-el-material-mas-lujoso-que-hay-pero-como-es-gratis-no-lo-valoramos/>

Baldeon Mejía, J. M. (2021). Empleo del diseño bioclimático para mejorar el confort espacial de los estudiantes. Caso: "I.E. 169 - San Carlos" en San Juan de Lurigancho. *Repositorio Institucional - UCV.*

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/89867>

Bian, Y., Luo, J., Hu, J., Liu, L., & Pang, Y. (2021). *Visual discomfort assessment in an open-plan space with skylights: A case study with POE survey and retrofit design.* <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111215>

Fang, Y., & Cho, S. (s/f). *SENSITIVITY ANALYSIS OF SKYLIGHT AND CLERESTORY DESIGN ON ENERGY AND DAYLIGHT PERFORMANCE OF A RETAIL BUILDING.* Recuperado el 7 de noviembre de 2023, de www.ibpsa.us

idUS - La luz confinada. Espacio y luz, materiales arquitectónicos. (s/f).

Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de

<https://idus.us.es/handle/11441/148906>

INCONTEC. (2006). Norma técnica Colombiana NTC 4595 y NTC 4596.

Ministerio de Educación Nacional, 2.

- Jovacho Macho, C. (2018). *La luz en el espacio docente: diferencias de percepción entre luz natural y artificial*.
<https://riunet.upv.es/handle/10251/112607>
- Kong, Z., Liu, Q., Li, X., Hou, K., & Xing, Q. (2022). Indoor lighting effects on subjective impressions and mood states: A critical review. *Building and Environment*, 224, 109591.
<https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2022.109591>
- Lawrence, T., & Roth, K. (2008). *Commercial building toplighting: energy saving potential and potential paths forward*.
<https://www.osti.gov/servlets/purl/1217901>
- Liu, X., Sun, Y., Wei, S., Meng, L., & Cao, G. (2021). Illumination distribution and daylight glare evaluation within different windows for comfortable lighting. *Results in Optics*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.rio.2021.100080>
- Motamedi, S., & Liedl, P. (2017). Integrative algorithm to optimize skylights considering fully impacts of daylight on energy. *Energy and Buildings*, 138, 655–665. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.12.045>
- Nolé Fajardo, M. L., Higuera-Trujillo, J. L., & Llinares, C. (2023). Lighting, colour and geometry: Which has the greatest influence on students' cognitive processes? *Frontiers of Architectural Research*, 12(4), 575–586.
<https://doi.org/10.1016/J.FOAR.2023.02.003>
- Onubogu, N. O., Chong, K. K., & Tan, M. H. (2021). Review of Active and Passive Daylighting Technologies for Sustainable Building. *International Journal of Photoenergy*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8802691>

- Place, J. W., Coutier, J. P., Fontoynt, M. R., Kammerud, R. C., Andersson, B., Carroll, W. L., Wahlig, M. A., Bauman, F. S., & Webster, T. L. (1987). IMPACT OF GLAZING ORIENTATION, TILT, AND AREA ON THE ENERGY PERFORMANCE OF ROOF APERTURES. *ASHRAE Transactions*, 93(pt 1), 238–258.
- Qu, G., Ren, L., Liu, G., Zhang, Y., Lau, S. K., Zhan, M., & Yan, M. (2024). The best college classroom light environments have changed: Attributed to the public health issue of decreased sensitivity to students' eyesight. *Energy and Buildings*, 307, 113948.
<https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2024.113948>
- Shirzadnia, Z., Goharian, A., & Mahdavinejad, M. (2023). *Designerly approach to skylight configuration based on daylight performance, toward a novel optimization process*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112970>
- Singh Bisht, D., Kumar, V., Singh, S., Garg, H., & Shravana Kumar, R. R. (2023). Computational analysis and optimization of daylight collector geometry for removal of hotspots in circular mirror light pipe. *Solar Energy*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112066>
- Veitch, J. A. (2001). Lighting quality contributions from biopsychological processes. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 30(1), 3–16.
<https://doi.org/10.1080/00994480.2001.10748329/ASSET//CMS/ASSET/19921654-0E03-404D-853B-E2A25BB76F53/00994480.2001.10748329.FP.PNG>
- Winterbottom, M., & Wilkins, A. (2009). Lighting and discomfort in the classroom. *Journal of Environmental Psychology*, 29(1), 63–75.
<https://doi.org/10.1016/J.JENVP.2008.11.007>

Xiao, H., Cai, H., & Li, X. (2021). Non-visual effects of indoor light environment on humans: A review☆. *Physiology & Behavior*, 228, 113195.

<https://doi.org/10.1016/J.PHYSBEH.2020.113195>

Sri G, Ely. (2019). Internalizing the sun, An exploration in Light Driven Architecture. University of Washington.

<https://digital.lib.washington.edu/researchworks/handle/1773/43598>

Muñoz, J. A. A. (2019). Características de un sistema de iluminación natural que generan confort lumínico para el diseño de una I.E nivel secundario ubicada en el sector Calispuquio-Cajamarca al año 2019 (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte.

<http://hdl.handle.net/11537/22026>

Monroy M., Trujillo M., Santana R. (2006) Manual de iluminación, Manuales de diseño ICARO de la calidad ambiental en la edificación.

<https://m2db.files.wordpress.com/2014/09/manual-1-iluminacion.pdf>

Valencia, D. (2022) ¿Qué balance dejó el gobierno de Iván Duque para la educación?, caracol radio.

https://caracol.com.co/radio/2022/08/07/nacional/1659868522_027968.htm

Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. [RETILAP]. (2017) Ministerio de Minas y Energía Recuperado de

https://www.minenergia.gov.co/documents/3896/080817_py_modifica_cap_4_retilap_030817.pdf

Ganslandt, R., & Hofmann, H. (2014) Manual - Cómo planificar con luz. ERCO Iluminación.

<https://lightfinder.ereco.com/es/contentaccess/page/download/media+handbook>

Lam, M.C. (1986). Sunlighting as a Formgiver for Architecture, Van Nostrand Reinhold Company Inc, New York.

<https://www.scribd.com/document/148328736/Sunlighting-as-Formgiver-for-Architecture-ec>